

SÉRIE A, N° 346.
N° D'ORDRE 1010.

THÈSES

PRÉSENTÉES A LA

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

M. Em. DEMOUSSY

ASSISTANT AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE
RÉPÉTITEUR A L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

PREMIÈRE THÈSE

ABSORPTION PAR LES PLANTES DE QUELQUES SELS SOLUBLES

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Soutenues le 24 novembre 1899 devant la Commission d'examen :

MM. BOUTY, *Président.*
DUCLAUX, } *Examineurs.*
BONNIER, }

PARIS

IMPRIMERIE DE LA COUR D'APPEL

L. MARETHEUX, Directeur.

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 135.000 FRANCS

1, RUE CASSETTE, 1

1899

SÉRIE A, N° 346.
N° D'ORDRE 1010.

THÈSES

PRÉSENTÉES A LA

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

PAR

M. Em. DEMOUSSY

ASSISTANT AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE
RÉPÉTITEUR A L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

PREMIÈRE THÈSE

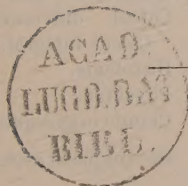
ABSORPTION PAR LES PLANTES DE QUELQUES SELS SOLUBLES

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Soutenues le ²⁴ novembre 1899 devant la Commission d'examen :

MM. BOUTY, *Président.*
DUCLAUX, }
BONNIER, } *Examineurs.*



PARIS

IMPRIMERIE DE LA COUR D'APPEL

L. MARETHEUX, Directeur.

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 135.000 FRANCS

1, RUE CASSETTE, 1

1899

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

<i>Doyen</i>	Gaston DARBOUX, <i>Prof.</i> . .	Géométrie supérieure.
<i>Professeur honoraire</i> . . .	Ch. HERMITE.	
	DE LACAZE-DUTHIERS.	Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
	TROOST.	Chimie.
	LIPPMANN.	Physique.
	HAUTEFEUILLE.	Minéralogie.
	BOUTY.	Physique.
	APPELL.	Mécanique rationnelle.
	DUCLAUX.	Chimie biologique.
	BOUSSINESQ.	Physique mathématique et Calcul des probabilités.
	PICARD.	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.
	H. POINCARÉ.	Astronomie mathématique et Mécanique céleste.
<i>Professeurs.</i>	YVES DELAGE.	Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
	Gaston BONNIER.	Botanique.
	DASTRE.	Physiologie.
	DITTE.	Chimie.
	MUNIER-CHALMAS.	Géologie.
	GIARD.	Zoologie. Évolution des êtres organisés.
	WOLF.	Astronomie physique.
	KOENIGS.	Mécanique physique et expérimentale.
	VÉLAIN.	Géographie physique.
	GOURSAT.	Calcul différentiel et Calcul intégral.
	CHATIN.	Histologie.
	PELLAT.	Physique.
	HALLER.	Chimie organique.
<i>Professeur adjoint</i>	PUISEUX.	Mécanique et astronomie.
<i>Secrétaire</i>	FOUSSEREAU.	

A

M. P.-P. DEHÉRAIN

MEMBRE DE L'INSTITUT

*Hommage de profonde reconnaissance
et de respectueux attachement.*

EM. DEMOUSSY

PREMIÈRE THÈSE

ABSORPTION PAR LES PLANTES

DE QUELQUES SELS SOLUBLES

HISTORIQUE

La question de la nutrition minérale des plantes peut être considérée comme datant maintenant d'un siècle. En effet, avant De Saussure, on n'y attachait aucune importance; beaucoup d'auteurs admettaient que les végétaux ne se servent du sol que comme d'un support et que l'eau est le seul élément utile qu'elles y puisent. Dans ses *Recherches chimiques sur la végétation*, De Saussure se montre convaincu de la nécessité de la présence dans les plantes de certains éléments minéraux, et met en évidence la faculté que possèdent les végétaux d'absorber par leurs racines les matières solubles mises à leur disposition.

Ses observations l'amènèrent à formuler des conclusions d'une grande importance, mais qui n'ont pas la portée générale que le savant physiologiste leur attribuait. C'est ainsi qu'ayant maintenu des plantes dans des solutions salines, jusqu'à ce qu'elles eussent évaporé la moitié du liquide, il trouva « qu'elles avaient sucé l'eau en beaucoup plus grande raison que les sels qui y étaient dissous ». Il montrait ainsi qu'il y a indépendance entre le dissolvant et le corps dissous au point de vue de l'absorption par les plantes.

De Saussure avait en outre abordé un sujet d'un très grand intérêt. Il avait cherché si les plantes sont capables d'opérer une sélection dans un mélange de diverses substances; il vit qu'il

en était bien ainsi, et déduisit de ses expériences qu'un corps est absorbé en proportion d'autant plus forte que sa solution est moins visqueuse. C'est la seule explication que donne De Saussure de cette faculté d'absorption élective.

Ces observations prêtent d'ailleurs à la critique. Par exemple, les sels mis ensemble en solution devaient faire double décomposition entre eux; De Saussure admet que cela n'a pas lieu parce que les liquides qu'il emploie sont très étendus, et, se contentant de doser le chlore et le calcium dans un mélange de nitrate de chaux et de chlorure de potassium, il conclut que le chlore est pris de préférence à l'acide azotique. Nous savons aujourd'hui qu'il y a toujours double décomposition, et par conséquent ces expériences perdent toute leur valeur.

Ce n'est que beaucoup plus tard que le sujet fut repris sérieusement et que les beaux travaux de Graham sur la diffusion donnèrent naissance à une théorie expliquant la composition minérale des végétaux.

Dans un mémoire couronné par l'Académie des Sciences en 1865, M. Dehérain établit le mécanisme de l'assimilation élective des matières minérales par les plantes¹. Il montre qu'une substance ne s'accumule dans un tissu qu'autant qu'elle y devient insoluble; il tend à s'établir, suivant les lois de la diffusion, un équilibre entre la concentration du liquide qui baigne les organes d'absorption de la plante et celle du suc qu'ils contiennent; cet équilibre est constamment détruit par suite de l'insolubilisation de la substance en question dans l'organisme du végétal, soit qu'elle forme des sels insolubles, soit qu'il y ait élaboration aux dépens de cette substance de principes immédiats complètement insolubles ou simplement colloïdes et non diffusibles.

C'est ainsi que la silice et le carbonate de chaux entrés dans les végétaux à l'état de solution dans l'eau chargée d'acide carbonique, se déposent dans les feuilles lorsque la cause qui maintient ces corps en dissolution vient à disparaître. L'acide phosphorique est retenu dans les plantes tantôt parce qu'il s'y trouve à l'état de phosphate insoluble, tantôt parce qu'il a donné naissance à des composés organiques complexes, insolubles ou colloïdes. Une illustration remarquable de la théorie de M. Dehérain est fournie

1. *Annales des sciences naturelles*, Botanique, t. VIII, 1867, p. 145.

par les fucus, qui contiennent de fortes proportions d'iode dont on ne trouve cependant que de très minimes quantités dans l'eau de mer; cet iode est engagé dans les plantes marines dans une combinaison tellement stable qu'on ne peut déceler sa présence qu'après avoir détruit la matière organique par incinération.

De nombreuses vérifications ont montré depuis trente ans la justesse des vues de mon savant maître; toutefois, il restait quelques faits inexpliqués. Si nous comprenons sans peine l'accumulation dans les plantes de matières insolubles, nous ne concevons pas bien comment les végétaux peuvent renfermer dans leurs tissus des quantités parfois très considérables de sels solubles. C'est ainsi que la formation de réserves azotées à l'état d'albuminoïdes nous apparaît comme parfaitement normale, tandis que nous ne nous expliquons pas l'existence de réserves de nitrates, c'est-à-dire d'azote sous une forme éminemment soluble et diffusible.

Si, en raison de l'importance du rôle qu'ils jouent dans la végétation, les nitrates attirent tout d'abord notre attention, la même question se pose pour d'autres sels solubles, dont l'utilité est moins évidente, mais que l'on rencontre toujours dans les végétaux en quantités plus ou moins fortes.

A la fin de son travail, M. Dehérain conclut que l'on doit admettre, pour expliquer ces faits, l'existence d'une sorte de combinaison non définie entre les tissus des plantes et certains sels solubles. Pour concevoir comment les végétaux accumulent certains principes de préférence à d'autres, il faudra admettre aussi que cette combinaison ne s'effectue pas avec la même énergie pour tous les sels, que par exemple l'affinité des substances végétales sera en général plus grande pour les sels de potassium que pour ceux de sodium. Les lois de la diffusion, dont M. Dehérain avait tiré si grand profit, devenaient donc insuffisantes pour rendre compte de ces faits particuliers.

Depuis 1865, la vieille expérience de Dutrochet sur l'osmose a été étendue par les recherches de De Vries, de Pfeffer, de Van't Hoff et autres, et il importait de savoir si on ne pourrait pas en tirer l'explication de faits que la diffusion ne permettait pas d'interpréter.

On peut dire que le point de départ des recherches portant sur cette branche de la physiologie végétale a été une observation de Nägeli, faite en 1835. Nägeli montra que les solutions colorées ne peuvent pas pénétrer dans le suc cellulaire tant que le proto-

plasma est vivant; au contraire, la pénétration est aisée lorsque le protoplasma est mort; il y a là une différence capitale entre les membranes cellulaires, qui sont très perméables, et la membrane protoplasmique vivante, qui est imperméable.

Sachs¹ vérifia ces faits : en immergeant des morceaux de betteraves blanches dans une solution foncée de la matière colorante des betteraves rouges, il trouva qu'il n'y avait pas coloration du suc cellulaire tant que les betteraves blanches étaient vivantes; mais si on venait à les luer soit par une température de 55 degrés, soit par des agents chimiques, la coloration se produisait. Inversement, des morceaux de betteraves rouges placés dans l'eau froide ne se décolorent qu'après leur mort.

En 1871, De Vries² répéta ces expériences et confirma leur exactitude, et fut conduit à découvrir le phénomène de la plasmolyse, bien connu aujourd'hui³. Il en conclut que le protoplasma vivant est imperméable à presque toutes les substances dissoutes, en particulier aux nitrates et aux chlorures alcalins, au saccharose, comme il l'est, d'après Nägeli, aux matières colorantes; cependant il admet déjà la possibilité d'une perméabilité extrêmement faible. D'ailleurs, certains corps pénètrent nettement : l'ammoniaque, le carbonate de potassium, l'acide sulfurique, en solutions très étendues s'introduisent dans le suc protoplasmique.

Lorsque le protoplasma meurt pour une cause quelconque, action physique ou action chimique, il devient au contraire très perméable, et les échanges de dedans en dehors et inversement se font librement par diffusion. Ce changement dans les propriétés osmotiques du protoplasma au moment de sa mort serait dû à un changement dans sa constitution chimique. Certaines propriétés chimiques, telles que la solubilité dans certains réactifs, sont modifiées; il acquiert aussi la faculté d'être teint par certaines matières colorantes.

La membrane protoplasmique vivante peut donc être assimilée d'une façon presque complète aux parois héli-perméables de Traube et de Pfeffer; on arrive ainsi à des considérations impor-

1. *Flora*, 1864, p. 72.

2. *Archives néerlandaises*, 1871, p. 116 et p. 245.

3. *Zeitschrift für physikalische Chemie*, t. III, et *Jahrb. für Wissen. Botan. Pringsheim*, t. XIV, p. 357, et t. XVI, p. 450.

tantes sur la pression qui existe à l'intérieur d'une cellule végétale¹.

En somme, ces faits confirment et développent l'observation de Nägeli, mais ne nous renseignent pas encore sur le phénomène de l'absorption. Ce n'est qu'en 1886 que Pfeffer² jeta une nouvelle lumière sur ce point par la publication de son travail sur l'absorption des couleurs d'aniline par les plantes, travail qui a été le point de départ de recherches de divers auteurs.

Reprenant l'expérience de Nägeli, Pfeffer fit usage de solutions très étendues d'un grand nombre de couleurs d'aniline qu'il partagea en deux groupes distincts : celles du premier sont incapables de traverser la membrane protoplasmique; les autres, au contraire, pénètrent et arrivent au suc cellulaire; ainsi, le bleu de méthyl et le bleu d'aniline ne sont pas absorbés, tandis que le bleu de méthylène traverse le protoplasma. Presque toutes les couleurs qui pénètrent s'accumulent dans le suc cellulaire; l'acide rosolique seul fait exception. Le protoplasma lui-même absorbe de la matière colorante et se teint; seul, le bleu de méthylène ne le colore pas. Il est à remarquer que le noyau reste incolore tant qu'il est vivant; lorsqu'il est mort, il fixe la couleur.

Pfeffer dit que l'accumulation peut avoir lieu sous trois formes : 1° la matière colorante arrivée dans le suc cellulaire se dépose sous forme de précipité; 2° elle reste en solution; 3° elle se fixe sur des corps préexistants. Ceci paraît signifier qu'il y a accumulation parce que la matière prend à l'intérieur du sac protoplasmique un état non diffusible, soit que ses propriétés physiques soient modifiées par la présence de certains corps, soit qu'elle contracte avec d'autres une combinaison colloïde. Si, par exemple, le suc cellulaire contient de l'acide tannique à l'état vésiculaire, la couleur y persiste à l'état de tannate. En effet, les tannates de matières colorantes ne peuvent pas traverser la membrane protoplasmique; d'autres sels, le gallate, le citrate, peuvent pénétrer jusqu'au suc cellulaire.

Ce qui montre bien que l'accumulation est causée par la formation d'une combinaison non diffusible, c'est que lorsqu'on place dans de l'eau très faiblement acidulée des cellules ayant

1. Pfeffer. *Physiologie*, t. I, p. 54, Van't Hoff, *Archives néerlandaises*, t. XX (1886), p. 243.

2. *Botan. Institut zu Tübingen*, 1886, t. II, p. 179 et *Physiologie*.

absorbé de la matière colorante, l'acide pénètre peu à peu et provoque la diffusion externe de la couleur. La cause de la rétention existe toujours, car, une fois l'acide éliminé, de la matière colorante peut s'accumuler de nouveau à l'intérieur du sac protoplasmique.

Ces phénomènes s'observent encore lorsque la vie de la cellule est ralentie par une température de 0°, par l'absence d'oxygène, par la présence d'anesthésiques; même la mort du protoplasma ne les empêche pas d'avoir lieu, à la condition qu'il conserve ses propriétés osmotiques. (Comme, d'après De Vries, la mort du protoplasma modifie toujours ses propriétés osmotiques, l'accumulation par le protoplasma mort ne doit jamais se produire. Il est probable qu'il faut voir là un véritable phénomène de teinture.)

Si on place dans l'eau pure des cellules chargées de matière colorante, celle-ci persiste quelquefois dans le suc cellulaire; souvent elle diffuse lentement au dehors. Il nous semble assez difficile de faire accorder cette expérience avec les précédentes sur l'accumulation de la couleur.

L'intérêt qui s'attache à ces recherches est considérable; on voit de suite les conséquences que l'on peut en déduire au point de vue de l'absorption des matières nutritives par les végétaux. Cependant, on est en droit de se demander s'il est permis d'assimiler des sels minéraux à des matières colorantes, qui sont des corps très condensés, à poids moléculaire très élevé, et que l'on est habitué en teinture à voir se fixer sur des substrata inertes.

Les observations de Pfeffer furent bientôt suivies d'autres dont l'application est plus immédiate, et la perméabilité du protoplasma, que De Vries n'avait pas observée au début, ne tarda pas à être démontrée.

C'est ce que les expériences de plasmolyse permirent de voir à Klebs¹ pour la glycérine, à De Vries lui-même² pour la glycérine et pour l'urée, à Janse³ pour le salpêtre et le sel marin. Une des expériences les plus typiques fut donnée par Famitzin, qui plaça des spirogyres dans une solution de nitrate de potasse à

1. *Deut. botan. Gesell.*, t. V (1887), p. 187.

2. *Archives néerlandaises*, t. XXII (1888), p. 382; et *Bot. Zeitung.*, 1888, p. 229, et 1889, p. 19.

3. *Botan. Centralblatt*, t. VIII (1887), n° 40.

0,5 p. 100 et laissa le liquide s'évaporer lentement; après quelques jours la concentration était de 4,5 p. 100. Non seulement les cellules de l'algue n'étaient pas plasmolysées, mais elles restaient turgescentes lorsqu'on les plaçait dans une solution à 4,7 p. 100, laquelle les aurait plasmolysées immédiatement quelques jours auparavant.

De Vries fait remarquer que la perméabilité varie avec la nature du corps dissous, et qu'elle n'est pas la même pour toutes les plantes ni pour toutes les cellules d'une même plante.

Il résulte de ce qui précède que, dans certains cas, des sels solubles peuvent pénétrer à l'intérieur du suc cellulaire d'où ils ne peuvent plus diffuser au dehors, soit par suite de propriétés spéciales du protoplasma vivant, soit à cause de la présence, dans le suc cellulaire, de substances avec lesquelles ils contractent des combinaisons colloïdes. Dans l'un ou l'autre cas, le sel doit se comporter comme s'il était devenu insoluble et, par suite, son accumulation se fait conformément aux principes posés par M. Dehérain.

Le présent travail a été entrepris dans le but d'étudier l'absorption et l'accumulation de quelques sels solubles par des végétaux entiers. Dans la première partie, j'ai suivi l'absorption de divers azotates par les plantes; je me suis adressé à ces sels à cause de l'importance du rôle qu'ils jouent dans la végétation. Dans la seconde partie, au contraire, j'ai voulu voir comment les plantes se comportaient vis-à-vis de sels dont l'utilité est bien moindre, et à cet effet j'ai choisi les chlorures.

Enfin, dans une troisième partie, j'ai examiné si, conformément aux observations de De Saussure, les végétaux sont capables de faire un choix parmi les sels solubles qu'ils ont à leur disposition, sans que ce choix provienne d'une insolubilisation réelle, telle que nous la concevons en chimie.

PREMIÈRE PARTIE

DES NITRATES DANS LES PLANTES

La présence des azotates dans les végétaux est connue depuis longtemps. Un voyageur qui a séjourné en Circassie de 1837 à 1839, Stan. Bell, rapporte qu'il a vu cultiver une plante dite herbe à nitre. M. Brosset, qui a rappelé ce fait à l'Académie des Sciences, ¹ pense que cette plante doit être l'*Amarantus blitum* qui a fait l'objet de recherches de M. Boutin ².

D'après cet auteur, l'*Amarantus blitum* peut contenir jusqu'à 14 p. 100 d'azotate de potasse; d'autres Amarantacées, l'*Amarantus melancolicus ruber*, l'*Amarantus atropurpureus*, en renferment aussi des quantités considérables; M. Boutin dit que l'on pourrait cultiver ces plantes pour servir, soit comme engrais azotés, soit comme source de salpêtre pour la fabrication de la poudre à canon.

Un grand nombre d'autres végétaux contiennent des nitrates : les betteraves en sont souvent très chargées, au point que leur dessiccation dans une étuve à température un peu trop élevée peut donner lieu à des explosions. C'est à la présence de ces sels dans les betteraves, le maïs, le sorgho, qu'il faut attribuer les accidents survenus quelquefois à des animaux après ingestion de ces aliments.

En 1884, MM. Berthelot et André ³ ont fait voir que tous les végétaux sans exception contenaient des nitrates, et ils ont étudié leur répartition dans les divers organes et leur variation à diverses époques de la végétation; les orties, la bourrache, les amarantes en sont particulièrement riches,

Si on rencontre quelquefois des plantes ne renfermant pas de

1. *Comptes rendus*, t. LXXIX, p. 4274.

2. *Comptes rendus*, t. LXXVI, p. 413, et t. LXXVIII, p. 261.

3. *Comptes rendus*, 1884, t. XCVIII, p. 1506, et t. XCIX, pp. 550, 591, 683.

nitrate, c'est ou bien que le milieu où végètent les racines ne renferme pas de ces sels, ou bien que la plante utilise rapidement le nitrate absorbé, suivant l'opinion de Frank pour les plantes arborescentes ¹. Le premier cas est fréquent : les arbres des forêts ne contiennent pas de nitrates parce que le sol n'est pas dans un état favorable à la nitrification ; ceci résulte nettement des observations d'Ebermayer ², de M. Bréal ³ et de celles plus anciennes de Boussingault. Nous pensons aussi que c'est pour la même raison que M. Serno ⁴ n'a pas rencontré d'azotates dans les plantes des terrains marécageux, telles que le drosera, le myosotis, etc ; ce fait doit tenir à ce qu'il n'y a pas nitrification dans de semblables milieux et non à la nature des plantes, comme paraît le dire l'auteur. En effet, en analysant des racines de myosotis venus en pleine terre, nous y avons trouvé des quantités très appréciables de nitrates. On en rencontre aussi dans les plantes comme l'*Elo-dea Canadensis* végétant dans des rivières pourvues d'azote nitrique par les eaux de drainage du sol environnant.

Il est donc aujourd'hui bien démontré que les nitrates que les plantes renferment proviennent uniquement du support où les racines se sont développées. Jamais on n'a constaté la présence des nitrates dans des plantes poussant dans un milieu exempt de ces sels et inapte à la nitrification.

Si l'on considère combien est faible toujours la proportion d'azote nitrique dans un sol en place, on peut se demander comment les plantes qu'il porte peuvent arriver à être riches en azotates. Il faut donc que les végétaux aient une grande appétence pour l'azote nitrique et s'en saisissent dans le sol avec une grande rapidité.

C'est cette facilité d'absorption que j'ai voulu mettre en évidence et examiner de plus près.

1. *Berichte des deut. botan. Gesell.*, 1887, pp. 472, 487; voir aussi Kreusler (*Berichte chem. Gesell.*, 1884), et Schulze (*Biedermann's Central.*, 1886, p. 47).

2. *Berichte des deut. botan. Gesell.*, 1888, pp. 217, 221.

3. *Ann. agron.*, 1887, t. XIII, p. 561.

4. *Landw. Jahrb.*, t. XVIII, pp. 877, 905.

CHAPITRE PREMIER

ABSORPTION DES NITRATES.

J'ai étudié les variations de concentration d'une solution de nitrate dans laquelle plongent les racines des plantes. Ces variations sont possibles, puisque l'expérience de De Saussure montre qu'il y a indépendance entre le dissolvant et le corps dissous ; différents auteurs ont vu depuis que dans certains cas une solution saline fournit aux plantes proportionnellement un peu plus de sel que d'eau et par suite s'appauvrit.

Dans quelles conditions y aura-t-il appauvrissement de la solution, dans quels cas au contraire se concentrera-t-elle ?

Le sel soluble, ici le nitrate, introduit dans le suc cellulaire, y persiste, soit qu'il y contracte une combinaison colloïde, soit que les propriétés osmotiques du protoplasma s'opposent à sa sortie ; il se comporte donc comme s'il était devenu insoluble ; si cette insolubilisation a lieu rapidement, si l'évaporation est nulle ou très faible, le volume du liquide restant sensiblement constant, la teneur en nitrate de ce liquide doit effectivement diminuer. Lorsque les causes d'insolubilisation n'existeront pas, ou qu'elles n'entreront que faiblement en jeu, lorsque la transpiration sera considérable, les organes d'évaporation des plantes étant très développés, et l'état hygrométrique de l'atmosphère étant peu élevé, il pourra arriver que la solution se concentre et que les végétaux prennent l'eau en plus forte proportion que le sel. On peut enfin concevoir le cas où la solution sera absorbée telle qu'elle est offerte, mais on devra considérer cela comme l'effet du hasard ; pour qu'il en soit ainsi, il faut que la plante prenne l'eau et le nitrate dans un rapport correspondant à l'état de la dissolution ; il est évident que la plupart du temps ces conditions ne seront pas remplies.

J'ai d'abord dû chercher à bien mettre en évidence et à rendre

aussi grands que possible les changements de concentration. J'ai employé des dissolutions très étendues; il était évident que dans ces conditions, on observerait de plus fortes différences dans la composition des liquides qu'avec des solutions plus riches; les variations seront notables en valeur relative, mais elles auront, d'autre part, l'inconvénient d'être faibles en valeur absolue. Pour les exagérer autant que possible, on devra réduire au minimum la quantité de liquide à donner aux plantes et porter au maximum le poids de plantes mis en expérience. De plus, pour observer un appauvrissement du liquide, il fallait restreindre l'évaporation.

Après quelques tâtonnements, on est arrivé à réaliser ces desiderata au moyen du dispositif suivant : comme vases de culture les cuvettes en porcelaines servant à la photographie sont d'un usage commode, on dispose ainsi d'une surface de plantes relativement considérable, tout en n'employant qu'une faible quantité de liquide, 100 ou 150 centimètres cubes pour une cuvette de 13 centimètres sur 18. Comme support pour les petites graines, telles que colza ou ray-grass, il n'y a aucun inconvénient à se servir de coton de verre, lorsque l'on n'a à effectuer que des dosages d'azote nitrique; mais il faut absolument abandonner son emploi lorsqu'on doit faire des analyses de matières minérales; le verre très divisé abandonne en effet à l'eau des quantités appréciables de soude, de chaux, etc. Il est préférable de placer les graines germées entre des baguettes de verre disposées les unes à côté des autres; c'est ainsi que l'on a opéré le plus souvent. Pour de grosses graines, telles que pois, lentilles, maïs, on se sert avantageusement de plaques de verre percées de trous, que l'on trouve couramment dans le commerce; ces plaques sont placées dans des cuvettes à photographie et maintenues à une faible distance du fond par de petits pieds en verre.

Pour restreindre l'évaporation, les cultures sont recouvertes de cages faciles à construire soi-même à l'aide de plaques de verre et de bandes de clinquant assujetties par des points de soudure; dans ces conditions, l'air accède facilement, sans se renouveler rapidement et l'évaporation est près de dix fois moins active qu'à l'air libre.

Pour suivre l'absorption des nitrates par les plantes, on a employé la plupart du temps des solutions contenant 0 gr. 2 d'azote nitrique par litre. En donnant à une culture 100 centimètres cubes

d'un tel liquide, les plantes avaient à leur disposition 20 milligrammes d'azote. Pour faire les dosages dans de bonnes conditions on prélevait 50 cc. ; ce liquide était réduit par évaporation, additionné de quelques gouttes d'acide acétique pour détruire les carbonates, s'il s'en trouvait, et introduit dans l'appareil classique renfermant du chlorure ferreux et de l'acide chlorhydrique. Le gaz dégagé était mesuré sur la cuve à eau après traitement par la potasse ; on s'assurait au moyen du sulfate de fer que l'on avait bien du bioxyde d'azote pur (il reste toujours un résidu gazeux de quelques dixièmes de centimètre cube provenant des gaz dissous dans l'eau de la cuve). Le volume de bioxyde d'azote, ramené à 0° et à 760 mm., multiplié par 0,627, donne le poids d'azote nitrique renfermé dans le liquide. On a ainsi une approximation de moins d'un demi-milligramme.

Les nitrates employés étaient purifiés au laboratoire, les solutions faites avec des poids connus de sel, et le titre en était vérifié par l'analyse.

Je me suis toujours servi de jeunes plantes, n'ayant eu que de l'eau distillée à leur disposition ; on a ainsi des végétaux dans un état aussi simple que possible, et les phénomènes que l'on doit observer ne seront pas compliqués par la vie et la nutrition antérieures des sujets. Par contre, les organes d'absorption étant peu développés, il faudra compenser leurs faibles dimensions par le nombre de plantes en expérience.

Les graines étaient mises à germer dans de l'eau distillée ; lorsque les radicelles atteignaient quelques millimètres, on transportait les plantules dans les cuves de végétation où on les laissait croître encore quelque temps. Lorsque les feuilles étaient bien développées, on remplaçait l'eau distillée par la solution de nitrate.

Dans certains cas, une fois l'analyse effectuée, on enlevait le liquide restant, et on le remplaçait par une solution neuve de même titre que la première, ou de titre différent. D'autres fois, au contraire, on avait l'intention de suivre le changement continu de l'état de la solution ; dans ce but, on remettait dans le vase de culture une quantité de liquide égale à celle qui avait été prélevée pour l'analyse et de même concentration, de sorte que les choses se passaient comme si l'on observait la marche de l'absorption sans toucher au liquide.

D'autre part, on note chaque fois le poids du système, on

connaît donc la quantité d'eau évaporée et par suite celle qui reste dans le vase : on calcule le poids d'azote restant en solution ; en le retranchant de celui introduit au début, on obtient le poids d'azote entré dans les plantes.

Tous les tableaux, sauf celui qui se rapporte à la première observation, renferment ces différents nombres : poids d'eau évaporée, azote nitrique contenu dans 50 c.c. de liquide restant (chiffre que je désignerai souvent du nom commode de concentration), azote nitrique absorbé par les plantes dans l'intervalle des analyses, et aussi azote nitrique absorbé par unité de temps, soit par vingt-quatre heures.

J'ai calculé également le poids d'azote nitrique qui serait entré dans les plantes si la transpiration avait été la seule cause de cette absorption, c'est-à-dire si le sel était inséparable du dissolvant et si la solution pénétrait sans modification dans les tissus.

Pour que ce calcul soit permis, il faut que tout le liquide évaporé l'ait été uniquement par les plantes, que par conséquent le liquide où baignent les racines n'ait rien perdu par sa surface libre. Grâce aux dispositifs des supports employés, cette surface libre est faible ; elle peut être réduite à 10 ou 15 centimètres carrés, lorsque les plantes sont supportées par des plaques de verre perforées ; elle s'élève à 50 c. q. lorsque les plantes reposent entre des baguettes de verre laissant entre elles des espaces de 1 millim. 5 au plus. Ces surfaces ne sont certainement pas négligeables ; mais étant donné que les vases sont constamment dans une atmosphère saturée de vapeur d'eau, que le soleil ne les frappe jamais directement, l'évaporation est extrêmement faible. J'ai cherché de quel ordre de grandeur pouvait être cette évaporation. Une cuvette disposée pour recevoir des plantes, et où la surface du liquide était recouverte d'une lame de verre perforée, a été placée dans des conditions semblables à celles où s'étaient trouvées les cultures. En vingt-quatre heures l'évaporation a été trop faible pour que la balance, sensible à 0 gr. 5, accusât de perte de poids ; et cependant la température de la serre était exceptionnellement élevée.

Il a fallu attendre trois ou quatre jours pour que l'on puisse trouver une différence de 1 gramme. Lorsqu'à la plaque de verre on substitue des baguettes, les pertes sont sensiblement les mêmes. Si l'on considère en outre que lorsque les cuvettes portent des cultures, les plantes protègent encore la surface libre du liquide, l'erreur commise en admettant que toute l'eau évaporée a été transpirée par les plantes sera encore atténuée. Nous donnons donc ce nombre dans certains cas, parce qu'il est commode pour les comparaisons, mais en nous rappelant qu'il ne représente pas la réalité.

Nos expériences ont porté sur divers nitrates et sur diverses plantes.

NITRATE DE POTASSIUM.

Pois. — Le tableau I renferme les résultats relatifs à une culture de pois dont les racines baignaient dans une solution de nitrate de potassium ; il donne les quantités d'azote nitrique contenues dans 50 c.c. de liquide à diverses époques.

TABLEAU I. — Absorption du Nitrate de potassium par des Pois.

63 plantes, 250 c.c. de liquide renfermant 58 milligr. d'azote.

	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 c.c. de liquide.
	— milligr.
Au début	11.6
3 ^e jour.	10.9
8 ^e —	10.5
17 ^e —	10.1
25 ^e —	9.7
30 ^e —	8.3
34 ^e —	7.9
50 ^e —	7.2

Dès le début, la teneur du liquide en azote diminue et l'abaissement de la concentration se manifeste d'une façon continue ; le sel est pris en plus grande raison que l'eau. Les variations sont sensibles mais assez faibles ; l'absorption de nitrate se fait lentement. Il est possible que les pois ne soient pas très avides de nitrate ; appartenant à la famille des légumineuses et pouvant à un certain moment assimiler l'azote atmosphérique, ils n'ont pas besoin d'accumuler l'azote nitrique, quoique, comme nous le verrons plus loin, il n'y ait pas eu assimilation d'azote libre pendant la durée de cette expérience.

Le vase, avec la culture qu'il portait, n'a été pesé que lorsqu'on a mis fin aux observations ; nous ne pouvons donc connaître que le poids total d'azote absorbé. L'évaporation a été de 165 grammes pendant ces cinquante-six jours ; les 80 c.c. de liquide restant contiennent encore 12 mg. 2 d'azote ; l'absorption a donc été de 45 mg. 8. Or, si la solution pénétrait dans les plantes sans aucun changement, si le poids de sel absorbé dépendait uniquement de la transpiration, notre culture n'aurait pris que ce qui est con-

tenu dans 163 grammes de solution, c'est-à-dire 38 mg. 3 d'azote, sensiblement moins que ce qui a été pris en réalité. Dans ce cas même, cette absorption calculée est trop forte; cette première expérience est la seule pour laquelle le liquide présentait une surface libre non négligeable et a dû par suite contribuer passablement à l'évaporation.

Il y a donc bien indépendance entre le dissolvant et le corps dissous, comme l'avait vu De Saussure, mais en sens inverse. Ainsi que l'avaient signalé Wolf puis M. Dehérain, dans certains cas le sel pénètre dans les plantes plus rapidement que l'eau.

Maïs. — Le tableau n° II donne des chiffres qui se rapportent à une culture de maïs dans du nitrate de potassium. Ici le vase a été pesé chaque fois que le liquide a été analysé; on peut donc calculer le poids d'azote absorbé dans l'intervalle des observations; ces nombres se trouvent dans la cinquième colonne. L'avant-dernière colonne indique l'absorption moyenne par jour dans l'intervalle des analyses. En outre, on a calculé les poids d'azote nitrique qui auraient été pris par les plantes si la transpiration avait seule été en jeu (quatrième colonne). Ces nombres ne sont que très légèrement trop forts, le liquide lui-même n'a évaporé que très peu d'eau. On peut ainsi comparer ces nombres à ceux qui représentent réellement l'azote absorbé.

TABLEAU II. — Absorption du Nitrate de Potassium par des Maïs.

300 c.c. de liquide renfermant 70 milligr. d'azote.

	EAU	AZOTE	AZOTE	AZOTE		RAPPORT
	évaporée.	NITRIQUE contenu dans 50 c. c. de liquide.	qui aurait été absorbé si l'évapora- tion avait seule été en jeu.	absorbé par les plantes		de l'absorption vraie à l'absorp- tion corres- pondant à l'évapo- ration.
	—	—	—	dans le temps indiqué.	en moyenne par jour.	—
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	—
Au début.	0	11.6	0	0	0	0
8 ^e jour	22	10.9	5.1	9.4	1.2	1.8
16 ^e —	25	8.9	5.4	15.6	1.9	2.8
21 ^e —	10	5.1	1.8	20.2	4.0	11.2
25 ^e —	13	2.2	1.3	14.7	3.7	12.8
41 ^e —	48	0	2.1	10.1	0.6	4.8
Totaux et moy. . .	118	0	15.7	70.0	0.6	4.5

Nous constatons d'abord que, comme dans l'expérience précé-

dente, la concentration diminue, mais plus rapidement; même il arrive un moment où le liquide est absolument privé de nitrate, la diphénylamine n'y produit plus de coloration. Il est possible que cet épuisement ait eu lieu avant le 41^e jour.

D'autre part, en comparant l'absorption réelle à l'absorption qui correspondrait à l'évaporation seule, on voit quelle disproportion existe entre les deux séries de chiffres : les poids d'azote absorbés sont bien supérieurs à ceux qui seraient entrés dans les plantes si la transpiration avait seule causé cette absorption. Dans la dernière colonne du tableau, nous donnons le rapport du poids d'azote réellement absorbé à celui qui serait pris si l'évaporation avait seule été en jeu. Ce rapport est ici toujours supérieur à l'unité et atteint quelquefois des valeurs considérables, mais extrêmement variables. Cette variabilité doit tenir à ce que l'absorption, comme nous le verrons, dépend de plusieurs facteurs : transpiration, concentration du liquide, dimensions du sac protoplasmique, et proportion de sel déjà contenu dans le suc cellulaire. La transpiration augmente à mesure que les plantes avancent en âge, les dimensions des cellules croissent aussi, ainsi que leur nombre; d'autre part, le suc cellulaire est de plus en plus riche en nitrate, et la concentration du liquide diminue. Les deux premières causes tendent à augmenter l'absorption, les deux dernières à la diminuer; il est donc normal que les nombres en question soient très variables; dans l'expérience résumée au tableau II ils présentent un maximum le 25^e jour.

Au total, 70 mg. d'azote ont été absorbés; 15,7 seulement auraient été pris si le nitrate n'avait pas été indépendant du dissolvant; dans ce cas il devrait rester encore 54 mg. 3 d'azote dans le liquide, tandis qu'il a complètement disparu.

Il existe donc entre le nitrate de potassium et les tissus des plantes une attraction, de quelque nature qu'elle soit, assez puissante pour que le sel soit pris jusqu'à la dernière trace sans que l'eau le suive dans son mouvement.

Une autre expérience sur les maïs a été suivie de beaucoup plus près; les résultats en sont rapportés dans le tableau III.

Pour le simplifier un peu, on a omis quelques observations en tous points semblables à celles qui y sont consignées. Très souvent le liquide était complètement renouvelé après l'analyse; on fournissait alors 150 c. c. de solution renfermant 30 milligr. d'azote; une

TABLEAU III. — Absorption du Nitrate de Potassium par des Maïs.

73 plantes. — 150 c. c. de liquide renfermant 30 milligr. d'azote nitrique.

		EAU ÉVAPORÉE	AZOTE nitrique contenu dans 50 c. c. de liquide.	AZOTE nitrique qui aurait été absorbé si l'évapo- ration avait seule été en jeu.	AZOTE nitrique absorbé.	RAPPORT de l'ab- sorption vraie à l'absorp- tion correspon- dant à l'évapora- tion.
		gr.	milligr.	milligr.	milligr.	
Début.	.....	..	10.0			
2 ^e jour.	.....	15	5.6	3.0	15.1	5.0
4 ^e —	Liquide renouvelé.	..	10.0			
5 ^e —	.....	16	3.4	1.8	21.7	12.0
5 ^e —	Liquide renouvelé.	..	10.0			
7 ^e —	.....	18	0.3	3.6	29.2	8.1
7 ^e —	Liquide renouvelé.	..	10.0			
8 ^e —	.....	3	5.8	0.6	13.0	21.6
8 ^e —	Substitué solution de concen- tration double.	..	20.0			
9 ^e —	.....	4	15.1	1.6	15.9	9.9
9 ^e —	Remis solution primitive.	..	10.0			
10 ^e —	.....	8	6.9	1.6	10.4	6.5
11 ^e —	La cage vitrée est enlevée. .	64	2.7	8.8	15.4	1.7
11 ^e —	Cage remise; liquide renou- velé.	..	10.0			
12 ^e —	.....	13	5.3	2.6	15.5	5.9
13 ^e —	Liquide renouvelé.	..	10.0			
15 ^e —	.....	24	4.7	4.8	18.2	3.7
16 ^e —	.....	31	4.1	2.9	4.0	1.3
17 ^e —	.....	32	2.5	2.6	4.6	1.7
18 ^e —	.....	25	1.9	1.2	1.5	1.2
18 ^e —	Liquide renouvelé.	..	10.0			
20 ^e —	.....	35	5.9	7.0	16.5	2.3
21 ^e —	.....	33	6.4	3.9	3.0	0.7
22 ^e —	.....	18	7.2	2.3	1.3	0.6
23 ^e —	Mis en plus 50 c. c. même li- quide.	35	8.3	5.0	3.3	0.6
24 ^e —	Mis en plus 50 cc. même li- quide.	22	8.6	3.6	3.0	0.8
25 ^e —	La cage vitrée est enlevée. .	69	15.0	11.8	7.0	0.6
25 ^e —	Cage remise; liquide renou- velé.	..	10.0			
27 ^e —	.....	72	13.5	14.4	8.9	0.6
28 ^e —	Cage enlevée; liquide renou- velé.	..	10.0			
30 ^e —	.....	115	22.2	23.0	15.5	0.7
30 ^e —	Cage remise; liquide renou- velé.	..	10.0			
32 ^e —	.....	72	17.0	14.5	3.5	0.2
Totaux et moyenne.		838		151.0	283.9	1.8

seule fois, le 8^e jour, on s'est servi d'une liqueur plus concentrée, contenant 60 milligr. d'azote pour 150 c. c. Dans deux cas, le 23^e

et le 24^e jours, comme le volume du liquide restant se trouvait fortement réduit par la transpiration des plantes, on a rajouté, en plus des 50 c.c. prélevés comme toujours pour l'analyse, 50 c.c. de liquide de même teneur en nitrate. A plusieurs reprises la cage vitrée a été enlevée et la culture était laissée à l'air libre pendant le temps séparant deux observations; toutes ces indications se trouvent d'ailleurs en abrégé dans le tableau.

Pendant les vingt premiers jours, la solution s'appauvrit rapidement; en vingt-quatre heures, la concentration du liquide diminue souvent de plus de moitié; en deux jours, du 5^e au 7^e jour, le liquide est presque complètement privé de nitrate. L'appétence des plantes pour ce sel est telle que lorsque le 10^e jour on enlève la cage vitrée pour exagérer la transpiration, il y a néanmoins abaissement de la concentration du liquide; elle tombe de 6 mg. 9 à 2 mg. 7, et le poids d'azote absorbé est presque double de celui qui correspondrait à l'évaporation, 15 mg. 4 au lieu de 8 mg. 8.

Pendant cette première période, l'absorption observée dépasse l'absorption correspondant à l'évaporation; le rapport de ces deux quantités est donc supérieur à l'unité. Mais on remarquera que ce rapport va en diminuant, avec quelques irrégularités: très grand au début, par exemple il est égal à 12 le 5^e jour et atteint son maximum 21.6 le 8^e jour, il décroît ensuite et le 18^e jour il diffère peu de 1; le titre de la solution change peu, et l'eau et le sel sont absorbés dans un rapport presque égal à celui qui représente la concentration du liquide.

Le 24^e jour, il y a renversement dans la marche de l'absorption¹: la solution se concentre; 50 c. c. renferment 6 mg. 4 d'azote au lieu de 5 mg. 9 qu'ils contenaient la veille; les choses se passent de la même façon les jours suivants, et la concentration croît d'une façon de plus en plus marquée. L'absorption réelle est maintenant plus petite que l'absorption qui correspondrait à l'évaporation, et le rapport des deux quantités est devenu inférieur à l'unité. Nous retombons ainsi sur le phénomène décrit par De Saussure: l'eau est prise en plus grande raison que le sel.

1. Dans ce cas, l'évaporation par le liquide lui-même agit pour augmenter la concentration; il est donc fort possible que, lorsqu'on observe pour la première fois que le liquide se concentre, la teneur du liquide serait restée la même si les plantes seules avaient produit l'évaporation d'eau.

Il arrive donc un moment où les plantes ne peuvent plus appauvrir la solution offerte, où elles ont des exigences en eau proportionnellement plus considérables que les exigences en nitrate. En effet, d'une part, la transpiration augmente à mesure que les plantes se développent; les poids d'eau évaporés sont extrêmement variables, mais on peut se convaincre qu'en général ils sont plus forts pendant la seconde période, où la solution se concentre, que dans les premiers temps de l'expérience. D'autre part, il est aisé de voir que l'absorption de nitrate diminue à mesure que le temps s'écoule. Ainsi, au début, les plantes prennent en un jour : 21 mg. 7 d'azote, puis successivement 13 milligr., 10 mg. 4, pour ne considérer que les absorptions réellement observées en vingt-quatre heures et se rapportant à des liquides de même concentration contenant 10 milligr. pour 50 c.c.; ensuite, pour des intervalles de deux jours, l'absorption tombe à 18.2, 16.5, 8.9, 3.5 (en laissant de côté le nombre 15.5 du 27^e jour, relativement élevé par suite de l'exagération de l'évaporation).

Le poids d'azote nitrique qui entre dans les plantes dans un temps donné, pour des concentrations égales et même évaporation, devient donc de plus en plus faible. Il est évident que dans ces conditions le rapport entre l'absorption vraie et l'absorption correspondant à l'évaporation doit diminuer.

Au total, les maïs ont pris 283 mg. 9 d'azote nitrique; ils n'en auraient absorbé que 151 mg. si l'absorption ne dépendait que de la transpiration.

Ayant ainsi donné quelques détails pour cette expérience III, il ne sera pas nécessaire de nous étendre aussi longuement sur les cultures suivantes, qui ont pour but de constater l'absorption des nitrates par des plantes autres que les précédentes.

Colzas. — Le tableau IV donne les résultats relatifs à une culture de colzas dans une dissolution de nitrate de potassium.

On voit que la solution s'est appauvrie jusqu'à ne plus contenir le 8^e jour que 1 mg. 2 d'azote pour 50 c.c. On a alors remplacé ce qui restait de liquide par 100 c.c. de solution au titre primitif. L'appauvrissement s'est encore manifesté pendant six jours; pendant ce temps, le poids d'azote absorbé surpassait comme précédemment celui qui correspond à l'évaporation. Mais à partir du 14^e jour, le liquide s'enrichit. Les 18^e et 20^e jours, on trouve même que le liquide a gagné 0 mg. 4 et 0 mg. 3 d'azote; ces nombres sont faibles et de l'ordre des erreurs d'expérience; ils signifient que l'ab-

sorption a été nulle. Il peut donc arriver un moment où, malgré une transpiration qui n'est pas négligeable, 4 gr. et 8 gr., les plantes se refusent à prendre même de petites quantités de nitrate. Cependant, en provoquant une transpiration exagérée, l'absorption se manifeste à nouveau, mais le poids d'azote entré dans les plantes est inférieur à celui qui correspond à cette transpiration. Ce dernier chiffre est d'ailleurs dans cette expérience toujours un peu trop fort : dans les cultures de plantes issues de petites graines, l'évaporation par le liquide entre un peu plus en compte que pour les maïs ; car les supports consistent en baguettes de verre laissant entre elles un interstice sensible ; de plus les plantes protègent mal la surface du liquide.

TABLEAU IV. — Absorption du Nitrate de Potassium par des Colzas.

375 plantes. 100 c.c. de liquide contenant 20 milligr. d'azote.

	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 c.c. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapora- tion avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes	
				dans l'intervalle des obser- vations.	en moyenne par jour.
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Au début		10.0			
2 ^e jour	3	8.5	0.6	3.5	3.5
3 ^e —	4	6.3	0.7	4.8	4.8
4 ^e —	6	5.0	0.75	3.0	3.0
7 ^e —	9	4.8	0.9	5.9	2.0
8 ^e —	11	4.2	0.4	1.2	1.2
Liquide enlevé ; remis 100 c.c. solution renfermant 20 milligr. d'azote.					
8 ^e —		10.0			
11 ^e —	17	6.4	3.4	9.4	3.1
14 ^e —	10	5.0	1.3	3.0	1.1
16 ^e —	9	5.3	0.9	0.5	0.25
18 ^e —	4	6.0	0.4	— 0.4	— 0.2
20 ^e —	8	7.3	0.9	— 0.3	— 0.15
La cage est enlevée, et la culture laissée à l'air libre.					
21 ^e —	28	10.5	4.1	2.5	2.5
Totaux et moy. . .	109		14.3	33.4	1.2

Une autre expérience semblable a encore été faite sur les colzas et a donné les mêmes résultats et nous croyons inutile de la rapporter.

Sarrasins. — Une culture de sarrasins a fourni des résultats analogues consignés dans le tableau V.

Après quatre jours, la solution ne renfermait plus que des traces d'azote nitrique. A ce moment on a donné aux plantes une solution neuve ; elle s'est encore appauvrie pendant deux jours, puis s'est concentrée. L'absorption devient nulle du 11^e au 13^e jour.

Comme on a pu le voir précédemment pour le maïs, le poids d'azote absorbé en 24 heures n'est pas maximum au début. Dans les expériences IV

et V, le maximum se place nettement du 2^e au 3^e jour, quoique la concentration du liquide soit moindre qu'au début.

TABLEAU V. — Absorption du Nitrate de Potassium par des Sarrasins.

195 plantes. 100 cc. de liquide contenant 20 milligr. d'azote.

	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 c. c. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évaporat- ion avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes.	
				dans l'intervalle des obser- vations.	en moyenne par jour.
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Début	—	10.0	—	—	—
2 ^e jour	5	7.6	1.0	3.6	3.6
3 ^e —	6	4.3	0.9	8.8	8.8
4 ^e —	4	1.6	0.3	4.9	4.9
5 ^e —	10	0.4	0.3	2.1	2.1
Liquide enlevé; remis 100 c. c. de solution renfermant 20 milligr. d'azote.					
5 ^e —	—	10.0	—	—	—
6 ^e —	4	7.5	0.8	5.6	5.6
7 ^e —	5	6.3	0.7	3.0	3.0
9 ^e —	11	6.5	1.4	1.0	0.5
11 ^e —	15	7.2	1.9	1.1	0.5
13 ^e —	19	10.0	2.7	0.1	0.05
Totaux et moy. . .	79	—	10.0	30.2	2.5

Trèfles. — Une première observation, faite sur des pois (page 10), avait montré que les légumineuses, malgré la faculté qu'elles peuvent acquérir d'assimiler l'azote atmosphérique, absorbent cependant l'azote nitrique. Ce fait est confirmé par l'expérience suivante qui a porté sur du trèfle rose; les résultats se trouvent dans le tableau VI.

Par suite de la petitesse des plantes, l'absorption est peu considérable, quoique très nette; après quinze jours, la concentration du liquide a diminué de moitié. A partir de ce moment, elle s'accroît; l'absorption diminue pour devenir nulle le 24^e jour.

On a également essayé de cultiver des lupins et des bourraches dans les mêmes conditions; mais on n'a pas réussi à les faire vivre plus d'une dizaine de jours dans une solution renfermant uniquement du nitrate de potasse. Malgré cela on a pu observer un affaiblissement de la teneur du liquide en azote nitrique qui est tombée de 10 à 2 milligr. pour 50 c. c.

L'absorption du nitrate de potassium a donc été constatée pour le maïs, le colza, le sarrasin, la bourrache, les pois, les lupins, le trèfle; nous verrons plus loin que d'autres plantes prennent aussi des quantités notables de ce sel.

Déjà nous pouvons voir que le poids d'azote total prélevé, lorsque l'absorption cesse, diffère avec la nature des plantes: les plantes issues de grosses graines en ont pris plus que celles provenant de petites graines.

TABLEAU VI. — Absorption du Nitrate de Potassium par du Trèfle rose.

360 plantes. 100 c.c. de liquide contenant 29 milligr. d'azote.

	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 c. c. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapo- ration avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes	
				dans l'intervalle des observa- tions.	en moyenne par jour.
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Début		10.0			
2 ^e jour	12	9.3	2.4	3.7	3.7
3 ^e —	10	9.1	1.9	2.1	2.1
5 ^e —	6	8.7	1.1	1.7	1.7
7 ^e —	3	8.2	0.5	1.2	0.6
9 ^e —	5	7.4	0.8	1.9	0.9
10 ^e —	4	7.0	0.6	1.0	1.0
13 ^e —	8	5.9	1.1	2.3	0.8
15 ^e —	10	5.2	1.2	1.8	0.9
On met en plus 50 c.c. de solution renfermant 5 milligr. 2 d'azote.					
17 ^e —	7	4.9	0.7	1.2	0.6
20 ^e —	16	5.4	1.5	0.9	0.3
22 ^e —	5	5.6	0.5	0.3	0.15
24 ^e —	7	6.7	0.8	— 0.1	— 0.05
26 ^e —	10	7.9	1.3	— 0.2	— 0.1
On enlève la cage; on met en plus 50 c.c. de solution renfermant 7 milligr. 9 d'azote.					
27 ^e —	29	9.7	4.6	2.1	2.1
Liquide enlevé; remis 100 c.c. de solution renfermant 20 milligr. d'azote.					
27 ^e —		10.0			
29 ^e —	16	11.9	3.2	0.1	0.05
Totaux et moy. . .	148		22.2	20.0	0.7

Les faits qui précèdent nous montrent avec la plus grande évidence que l'azote du liquide qui baigne les racines a été attiré par les plantes; sous quelle forme s'y trouve-t-il, c'est ce qu'il reste maintenant à chercher.

Les observations de MM. Berthelot et André, de M. Dehérain, et de bien d'autres auteurs, nous enseignent que les plantes peuvent accumuler dans leurs tissus de grandes quantités de nitrates en nature ainsi qu'il a été dit plus haut; il doit en être de même dans nos expériences, mais il est vraisemblable aussi qu'une portion de l'azote nitrique absorbé est utilisée à la formation des organes du végétal. Il était donc bon de rechercher si une partie de l'azote nitrique absorbé persistait encore dans les plantes à son état primitif. S'il en était ainsi, on pourrait affirmer que

l'absorption est provoquée par une immobilisation particulière de l'azote nitrique dans la plante, et qu'elle ne doit pas être uniquement attribuée à l'insolubilisation de l'azote sous forme non diffusible telle que celle d'albuminoïde.

On a procédé au dosage de l'azote dans quelques-unes des cultures. On a déterminé :

1° L'azote nitrique, en épuisant par de l'eau chaude les plantes préalablement séchées, puis en dégageant l'azote à l'état de bioxyde d'azote;

2° L'azote organique par le procédé Kjeldahl, après élimination de l'azote nitrique.

Quelquefois on déterminait l'azote ammoniacal en faisant bouillir la matière avec de l'eau et de la magnésie calcinée, et en recueillant l'ammoniaque dans de l'acide sulfurique titré; il convient de remarquer toutefois que cette ammoniaque peut aussi provenir de certaines amides régénérant facilement le sel ammoniacal dont elles dérivent.

La somme de ces trois nombres représente l'azote contenu dans la récolte.

On déterminait d'autre part l'azote albuminoïde contenu dans un nombre de graines non germées égal à celui qui avait été mis en expérience (dans les graines il n'y a jamais que des traces d'azote nitrique); et enfin on connaissait, par la mesure et l'analyse du liquide restant, le poids d'azote nitrique absorbé pendant la vie des plantes.

La comparaison entre ces deux sommes montrait l'exactitude des opérations.

Analyse des pois de l'expérience I.

	gr.
Poids de 63 graines de pois sèches.	9 70
Poids de 63 plantes sèches.	5 64
Perte de matière sèche	4 06
Perte de matière organique (perte brute + poids de nitrates de potasse absorbé), $4.06 + 0.33$	4 39
Azote organique des graines 0 410	} 0 456
Azote nitrique absorbé. 0 046	
Azote organique de la récolte 0 408	} 0 446
Azote ammoniacal (ou des amides) dans la récolte. 0 015	
Azote nitrique dans la récolte 0 023	

Il y a une légère perte qui peut tenir à ce que les graines mises en expérience n'étaient pas rigoureusement identiques à celles

soumises à l'analyse au début. Mais il est intéressant de voir que l'azote retrouvé n'excède pas l'azote des graines et l'azote nitrique absorbé; il n'y a pas eu assimilation d'azote atmosphérique; les racines étaient d'ailleurs dépourvues de nodosités. Par conséquent, comme nous l'avons signalé précédemment à propos de cette culture, si les pois ont absorbé moins de nitrate que les maïs, cela peut être attribuable à ce que plus tard ces légumineuses étaient capables d'acquérir la faculté d'assimiler l'azote de l'air, mais certainement pas à ce qu'elles ont exercé cette fonction pendant la durée de cette expérience.

Nous constatons ensuite que la moitié de l'azote nitrique absorbé existe encore en nature dans les plantes; notre hypothèse se trouve donc justifiée. Il y a lieu de remarquer aussi que la majeure partie de l'azote nitrique transformé n'est pas à l'état albuminoïde, mais se trouve à l'état d'ammoniaque ou d'amide, c'est-à-dire sous une forme relativement simple, et qui n'est vraisemblablement qu'une transition entre la forme initiale d'acide azotique et la forme finale d'albuminoïde, comme l'ont du reste montré les recherches de Loew.

Il y a eu perte d'environ 50 p. 100 de la matière sèche, fait qui est conforme à ce que nous savons sur la combustion énergique qui a lieu pendant la germination.

De pareilles conclusions peuvent se déduire de l'analyse de colzas d'une expérience semblable à l'expérience IV et dont les détails n'ont pas été donnés, les observations n'ayant eu lieu qu'à de longs intervalles.

	gr.
Poids de 200 graines de colza (moins les enveloppes) . .	0 741
Poids de la récolte (200 plantes)	1 177
Gain de matière sèche	0 436
Gain de matière organique (gain de matière sèche — poids de nitrate de potasse absorbé) : 0.436 — 0.346	0 090
Azote organique des graines 0.018	} 0 066
Azote nitrique absorbé. 0.048	
Azote organique de la récolte 0.032	} 0 063
Azote ammoniacal ou amidé 0.005	
Azote nitrique dans la récolte. 0.026	

Ici, une notable fraction de l'azote nitrique est passée à l'état organique; ceci est naturel, car les graines de colza ne contiennent que peu d'azote, et il devait y avoir augmentation de la matière albuminoïde puisqu'il y a eu un léger gain de matière

sèche, ce qui n'a pas eu lieu dans l'expérience I avec les pois.

Pour les sarrasins de l'expérience V, on a obtenu les chiffres suivants :

	gr.
Poids de 195 graines sèches (moins les enveloppes) . .	3 629
Poids des 195 plantes sèches de la récolte.	1 810
Perte de matière sèche.	1 819
Perte de matière organique (perte brute + poids de nitrate de potasse absorbé : $1.819 + 0.218$	2 037
Azote organique des graines (moins celui des enveloppes)	0.032
Azote nitrique absorbé	0.030
Azote organique de la récolte	0.036
Azote nitrique de la récolte	0.027
	0.062
	0.063

A très peu près, l'azote de la récolte est égal à la somme de l'azote des graines et de l'azote nitrique absorbé.

Sur 30 mg. 2 d'azote nitrique que les plantes ont pris, on en retrouve 27 non modifiés ; une faible fraction a été transformée ; ceci s'accorde bien avec ce fait qu'il n'y a pas eu de gain de matière sèche, puisqu'au contraire il y a une perte de plus de 50 p. 100. Les plantes n'étant pas à la période d'élaboration n'ont pas formé de matières albuminoïdes.

ABSORPTION DE DIFFÉRENTS AUTRES NITRATES

Quoique le nitrate de potassium soit la forme sous laquelle se trouve l'azote nitrique dans les végétaux, il était vraisemblable que les plantes ne se refuseraient pas à prendre des nitrates d'autres bases, en particulier de celles qu'on rencontre généralement dans les cendres. Il était donc intéressant de suivre l'absorption de quelques autres nitrates.

NITRATE DE CALCIUM

On s'est d'abord occupé du nitrate de calcium. Comme il se trouve dans la terre arable, on pouvait s'attendre à ce que les plantes s'en saussissent aisément. C'est en effet ce qui a eu lieu, comme le montre le tableau VII, relatif à une culture de *colzas*.

Les résultats sont identiques à ceux qui ont été observés pour le nitrate de potassium. L'absorption s'est faite parfaitement et, à deux reprises, la solution a été privée d'azote nitrique presque jusqu'à la dernière trace.

TABLEAU VII. — Absorption du Nitrate de Calcium par des Colzas.

100 c.c. de liquide contenant 20 milligr. d'azote.

	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 c. c. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapora- tion avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes	
				dans l'intervalle des observa- tions.	en moyenne par jour.
	— gr.	— milligr.	— milligr.	— milligr.	— milligr.
Début		10.0			
2 ^e jour.	3	7.3	0.6	5.9	5.9
5 ^e —	16	0.5	2.3	13.3	4.4
50 c.c. du liquide restant sont remplacés par 50 c.c. de solution ren-					
fermant 10 milligr. d'azote.					
		6.5			
7 ^e —	40	1.7	1.3	8.3	4.1
On met en plus 50 c.c. de solution renfermant 1 milligr. 7 d'azote.					
11 ^e —	25	0.2	0.8	3.7	0.9
Totaux et moy. . .	54		5.0	31.2	3.1

A propos de l'absorption de divers nitrates, une question vient se poser ici. Dans les végétaux, l'azote nitrique est à l'état de nitrate de potassium; on conçoit donc que ce sel puisse être pris en nature. En est-il de même pour un nitrate d'un métal différent du potassium? Dans le cas actuel, le nitrate de calcium est-il absorbé sans modification, ou bien, par un mécanisme quelconque, les racines peuvent-elles prendre l'acide azotique en laissant de côté la base?

Cette dernière hypothèse a été mise en avant par certains auteurs. Elle n'a rien d'absurde; on admet que les racines excrètent des acides assez énergiques puisqu'ils peuvent attaquer du marbre ou du phosphate de chaux cristallisé; il pourrait arriver que ces acides remplaçassent l'acide azotique dans la solution, y maintenant ainsi la base primitivement contenue dans le nitrate.

Dans le cas particulièrement simple où nous nous trouvons ici, il était facile de s'assurer si l'acide nitrique est absorbé seul ou à l'état de nitrate de calcium. Or, le onzième jour, le liquide restant ne renfermait plus que 0 mg. 2 d'azote nitrique pour 50 c.c. et ne précipitait plus par l'oxalate d'ammoniaque. Le nitrate de calcium entre donc sans modification dans les plantes, et ce n'est que dans l'organisme végétal qu'il subit des transformations.

TABLEAU VIII. — Absorption du Nitrate de Calcium par des Colzas.

278 plantes, 100 cc. de liquide contenant 20 milligr. d'azote.

	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapo- ration avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes.	
				dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.
	— gr.	— milligr.	— milligr.	— milligr.	— milligr.
Début		10.0			
2 ^e jour.	2	9.4	0.4	1.6	1.6
5 ^e —	12	5.1	2.2	9.6	3.2
7 ^e —	5	2.2	0.5	5.3	2.6
8 ^e —	5	1.1	0.2	1.9	1.9
Liquide enlevé; remis 100 cc. de solution renfermant 20 milligr. d'azote.					
8 ^e —		10.0			
9 ^e —	3	8.9	0.6	2.8	2.8
11 ^e —	9	7.7	1.6	3.7	1.8
14 ^e —	23	6.0	3.5	5.8	1.9
19 ^e —	48	2.5	5.7	7.0	1.4
Liquide enlevé; remis 100 cc. de solution renfermant 20 milligr. d'azote.					
19 ^e —		10.0			
21 ^e —	39	11.0	7.8	6.6	3.3
Totaux et moy. . .	146		22.5	44.3	2.2

Une autre expérience sur les colzas a été suivie pendant plus longtemps. Jusqu'au 19^e jour, la solution s'est appauvrie; le nitrate de calcium a été pris en plus forte proportion que l'eau. Du 19^e au 20^e jour, c'est le contraire qui a été observé : la solution s'est concentrée, le poids d'azote absorbé à ce moment est inférieur à celui qui correspond à l'évaporation.

NITRATE DE SODIUM

Pour la soude, il n'est pas évident *a priori* que l'absorption ait lieu aussi aisément; on ne rencontre, en effet, cette base que très rarement dans les végétaux terrestres, ainsi que Pélignot l'a montré par de nombreuses analyses. Cependant des observations de M. Dehéraïn permettent déjà d'affirmer que, dans certaines conditions, les plantes se saisissent de sels de sodium; dans une expérience devenue classique, mon savant maître avait montré la répugnance qu'éprouvent les plantes pour le chlorure de sodium lorsqu'elles ont de la potasse à leur disposition; au contraire, en

leur fournissant uniquement du sel marin, il constata que ce corps était parfaitement absorbé ¹.

D'autre part, M. Pagnoul, au cours de ses recherches sur l'influence des engrais à base de soude, a vu aussi que la soude peut être absorbée par les plantes lorsque la potasse a fait défaut ².

Le tableau IX montre que l'absorption du nitrate de sodium se fait avec autant de rapidité que celle du nitrate de potassium.

TABLEAU IX. — Absorption du Nitrate de Sodium par des Colzas.

100 cc. de liquide contenant 20 milligr. d'azote.					
EAU évaporée.	— gr.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide. — milligr.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapo- ration avait seule été en jeu. — milligr.	AZOTE absorbé par les plantes.	
				dans l'intervalle des observations.	en moyenne par jour.
				— milligr.	— milligr.
Début.		10.0			
4 ^e jour.	9	3.3	1.8	14.0	4.7
8 ^e —	24	0	1.6	6.0	1.5
50 cc. du liquide restant sont enlevés; on rajoute 100 cc. de solution renfermant 20 milligr. d'azote.					
8 ^e —		8.5			
9 ^e —	5	7.3	0.8	3.7	3.7
13 ^e —	37	3.1	5.4	11.7	2.9
Totaux et moy. . .	75		9.6	35.4	2.5

Les résultats sont semblables aux précédents. Le huitième jour il n'y a plus trace d'azote nitrique dans le liquide. En fournissant de nouveau 20 milligr. d'azote, on voit que l'appauvrissement est déjà considérable après cinq jours.

Comme dans le cas du nitrate de calcium, on a voulu s'assurer que c'est bien du nitrate de sodium qui entre dans la plante et non pas de l'acide azotique seulement. Il restait 4 mg. 1 d'azote nitrique dans 50 cc. du liquide baignant les racines à la fin de l'expérience; ce poids correspond à 5 mg. 1 de sodium; on doit en trouver la même quantité dans le liquide si le sel est pris sans modification. Un dosage à l'état de sulfate indiqua la présence de 5 mg. 7 de sodium. La différence avec le chiffre théorique est trop faible pour que nous ne soyons pas en droit de dire que le nitrate de sodium est absorbé en nature.

1. *Ann. agron.*, t. IV, (1878), p. 321.

2. *Ann. agron.*, t. XX, (1894), p. 467.

NITRATE DE MAGNÉSIUM

Passons maintenant à un autre nitrate qui se rencontre aussi dans le sol et dont la base se trouve dans les cendres de beaucoup de végétaux, le nitrate de magnésium.

TABLEAU X. — Absorption du Nitrate de Magnésium par du Ray-grass.

100 cc. de liquide contenant 20 milligr. d'azote.					
	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapo- ration avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes.	
				dans l'intervalle des observations.	en moyenne par jour.
	— gr.	— milligr.	— milligr.	— milligr.	— milligr.
Début.		10.0			
3 ^e jour.	12	6.0	2.4	9.5	4.7
5 ^e —	15	3.3	1.8	5.7	2.8
On met en plus 50 cc. de liquide renfermant 3 milligr. 3 d'azote.					
7 ^e —	7	1.9	0.5	3.7	1.9
9 ^e —	15	1.2	0.5	2.0	1.0
12 ^e —	13	0	0.3	2.4	0.8
Liquide enlevé; remis 150 cc. de solution renfermant 30 milligr. d'azote.					
12 ^e —		10.0			
19 ^e —	30	7.5	8.0	12.0	1.7
26 ^e —	21	7.7	3.1	2.8	0.4
28 ^e —	11	7.0	1.7	2.9	1.4
30 ^e —	16	8.7	2.2	— 0.2	— 0.1
Liquide enlevé; remis 100 cc. de solution renfermant 20 milligr. d'azote.					
30 ^e —		10.0			
32 ^e —	10	10.9	2.0	0.4	0.2
Liquide enlevé; remis 100 cc. de solution renfermant 20 milligr. d'azote.					
32 ^e —		10.0			
35 ^e —	13	11.3	2.6	0.3	0.1
Liquide enlevé; remis 100 cc. de solution renfermant 20 milligr. d'azote.					
35 ^e —		10.0			
51 ^e —	25	11.8	5.0	2.5	0.1
Totaux et moy. . .	188		30.1	44.0	0.9

Ce sel a été fourni à une culture de ray-grass ayant pour support du coton de verre. On voit dans le tableau X que tout le nitrate de la solution a été pris en douze jours. Pendant encore une semaine il y a eu absorption d'une façon marquée, puis la solution s'est concentrée et les poids d'azote absorbés ont été insignifiants.

Dès le 19^e jour, les feuilles étaient jaunes et bientôt plusieurs se flétrirent. Comme l'a montré Lœw¹, les sels de magnésium

1. Bot. Centralblatt, t. LI, p. 152.

sont toxiques pour les végétaux, surtout lorsque la chaux fait défaut. Dans le cas actuel, l'intoxication était visible quoique le coton de verre eût cédé au liquide des traces de chaux. Le 51^e jour, on cessa de fournir du nitrate de magnésium et on remplaça la solution par de l'eau ordinaire pour voir si les plantes reprendraient quelque vigueur. Après un temps assez long, plus d'un mois, de nouvelles tiges et de nouvelles feuilles se développèrent tandis que les anciennes mouraient. Il y avait donc bien eu empoisonnement par la magnésie, non pas des plantes entières, puisqu'elles ont pu former de nouveaux organes, mais tout au moins des parties aériennes.

Nous citerons encore ici deux autres expériences qui, quoique ne permettant pas de suivre l'absorption du nitrate de magnésium, montrent que les effets toxiques de ce sel ne se font sentir que lorsqu'il est fourni pendant trop longtemps ou que la chaux est absente.

TABLEAU XI. — Absorption de divers nitrates par du Ray-grass.

	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapo- ration avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes.	
				dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.
Début	150 cc.	de solution de nitrates de sodium et de magnésium, contenant 90 milligr. d'azote.			
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
10 ^e jour.	23	30.0 21.4	13.8	36.7	3.6
		Liquide enlevé; mis 100 cc. de solution de nitrate de sodium et de magnésium contenant 60 milligr. d'azote.			
10 ^e —		30.0			
24 ^e —	37	42.0	22.2	— 1.3	— 0.1
		Liquide enlevé; mis 100 cc. de solution de nitrate de calcium contenant 20 milligr. d'azote.			
24 ^e —		40.0			
26 ^e —	13	11.7	2.6	— 0.5	— 0.2
		On donne une solution nitrique sans azote pendant trois semaines, puis on met 100 cc. de solution de nitrate de potassium contenant 20 milligr. d'azote.			
27 ^e —		10.0			
51 ^e —	10	7.8	2.0	4.4	1.1
		Liquide enlevé; remis 100 cc. de solution de nitrate de potassium, contenant 20 milligr. d'azote.			
51 ^e —		10.0			
55 ^e —	7	10.8	1.4	— 0.1	— 0.2
Totaux et moy. . .	90		42.0	39.2	0.7

A la culture XI, ray-grass, on a donné un mélange de nitrates de magnésium et de sodium en proportions équivalentes. L'absorption d'azote a été considérable pour les dix premiers jours, elle a été nulle du 10^e au 24^e jour; les plantes commençaient alors à jaunir. A ce moment on leur

donna du nitrate de calcium pour combattre les effets de la magnésie et aussi pour voir si ces plantes, qui refusaient de prendre du nitrate de sodium et du nitrate de magnésium, montreraient la même indifférence vis-à-vis d'un nitrate d'une autre base. On voit que du 24^e au 26^e jour l'absorption a encore été nulle.

Les plantes furent ensuite laissées pendant trois semaines dans une solution nutritive ne renfermant pas d'azote; puis on rechercha si elles étaient de nouveau capables d'absorber un nitrate. On constata une absorption de 4 milligr. 4 d'azote nitrique en quatre jours; mais bientôt l'absorption devint nulle. Lorsqu'on mit fin à l'expérience, les plantes étaient en bon état, les feuilles étaient redevenues vertes. Dans le cas actuel la magnésie avait commencé à faire sentir ses effets toxiques, mais comme on a cessé d'en fournir avant que l'intoxication fût complète, on put sauver la culture.

L'expérience XII est analogue; mais dès le début la chaux fut associée à la magnésie. L'absorption cessa après vingt-quatre jours. Ici, les feuilles n'étaient pas jaunes, contrairement à ce qui était arrivé à la même époque pour l'expérience XI, dans laquelle il n'y avait pas de chaux. Remarquons de plus que la culture, après trois semaines de repos, a pu de nouveau absorber du nitrate de calcium.

TABLEAU XII. — Absorption de divers nitrates par du Ray-grass.

	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapo- ration avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes	
				dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.
Début	150 cc. de solution de nitrates de calcium et de magnésium, contenant 90 milligr. d'azote.				
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
		30.0			
4 ^e jour.	19	26.2	11.4	21.4	5.3
	Liquide enlevé; remis 150 cc. de solution de nitrates de calcium et de magnésium, contenant 90 milligr. d'azote.				
4 ^e —		30.0			
24 ^e —	69	50.0	47.9	9.0	0.4
	Liquide enlevé; mis 100 cc. de solution de nitrate de calcium, contenant 20 milligr. d'azote.				
24 ^e —		10.0			
26 ^e —	9	11.2	1.8	— 0.4	— 0.2
	On donne une solution nutritive sans azote pendant trois semaines; puis on met 100 cc. de solution de nitrate de calcium contenant 20 milligr. d'azote.				
47 ^e —		10.0			
51 ^e —	18	6.3	3.6	9.7	2.4
	Liquide enlevé; remis 100 cc. de solution de nitrate de calcium contenant 20 milligr. d'azote.				
51 ^e —		10.0			
55 ^e —	9	10.0	1.8	1.8	0.4
Totaux et moy. . .	124		66.5	41.5	0.9

Après avoir constaté que les nitrates des principales bases que

l'on rencontre dans la terre arable sont bien absorbés par les plantes, nous avons voulu voir s'il en serait de même pour un nitrate quelconque.

Sans que l'on puisse *a priori* établir une distinction bien nette entre sels toxiques et sels inoffensifs, il est permis d'écarter de suite les sels de certains métaux tels que le cuivre, le plomb, le mercure, l'argent, etc., qui sont connus depuis longtemps comme ayant des effets extrêmement fâcheux pour la végétation ; et nous nous adresserons à quelques autres métaux moins nocifs.

NITRATE DE STRONTIUM

On a choisi la strontiane comme base ne se rencontrant pas dans la terre arable, et ne semblant pas devoir être nuisible, parce que M. Dehérain a pu autrefois en faire absorber à des plantes sans inconvénient et que, depuis, M. Haselhoff¹ a montré que la strontiane pouvait se substituer à la chaux dans la nutrition des plantes ; ayant élevé de l'orge et des haricots dans de la terre et dans des solutions nutritives, il conclut que la strontiane ne nuit pas au développement des végétaux, est absorbée par eux et y remplace la chaux, mais que cette substitution n'a lieu que lorsque la chaux et les autres aliments du sol font défaut.

TABLEAU XIII. — Absorption du Nitrate de Strontium par du Sarrasin.

164 plantes, 100 cc. de liquide contenant 20 milligr. d'azote.

	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapo- ration avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes	
				dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Début.		10.0			
2 ^e jour.	17	9.8	3.4	3.7	3.7
3 ^e —	7	10.6	1.3	0.2	0.2
5 ^e —	5	10.9	1.0	0.4	0.2
7 ^e —	4	10.4	0.9	1.6	0.8
9 ^e —	4	10.2	0.8	1.1	0.5
Totaux et moy. . .	37		7.4	7.0	0.9

Notre expérience XIII portant sur du sarrasin montre que le

1. *Landwirthsch. Jahrb.*, t. XXII, (1893), p. 831.

nitrate de strontium est absorbé, mais bien plus faiblement que ne le sont les nitrates des métaux essayés jusqu'ici.

Les plantes n'ont aucune appétence pour le nitrate de strontium; les poids d'azote absorbés ne sont pas très différents de ceux qui correspondent à l'évaporation.

L'expérience n'a pas été prolongée parce qu'après une dizaine de jours les plantes commencèrent à présenter un mauvais aspect et bientôt plusieurs moururent.

Ici, la strontiane s'est montrée nuisible; ceci est en contradiction formelle avec les observations de M. Dehérain et de M. Hasselhoff; il est vraisemblable que cela tient à ce que nos plantes n'avaient absolument aucune autre nourriture et qu'aucun élément n'a pu combattre les effets de la strontiane, si nous adoptons pour ce corps des vues semblables à celles de Lœw pour la magnésie¹.

NITRATE DE LITHIUM

Adressons-nous maintenant à un métal dont les composés sont manifestement toxiques. D'après M. Grandeau et d'après Nobbe, Schröder et Erdmann², la lithine, non seulement ne peut pas remplacer la potasse dans la nutrition des végétaux, mais encore leur est nuisible.

Nous avons alimenté une culture de sarrasin avec une solution de nitrate de lithium. On voit dans le tableau XIV que les choses se sont passées comme pour le nitrate de strontium. L'absorption a été faible et l'appauvrissement n'a eu lieu que les premiers jours, puis la concentration a peu changé; les poids d'azote absorbés diffèrent peu de ceux qui correspondent à l'évaporation.

Le lithium s'est nettement montré nuisible; beaucoup de plantes n'ont pas tardé à jaunir et finalement à périr.

1. Tout récemment, depuis ces expériences, Lœw (*Bot. Centralblatt*, 1898, pp. 202 et 257) a émis sur le strontium des idées analogues à celles qu'il avait exprimées à propos du magnésium. Les sels de strontium offerts seuls sont toxiques, ils deviennent inoffensifs si la chaux est présente en quantités suffisantes. Il a expérimenté sur des moisissures. Le rubidium, au contraire, semble pouvoir, dans certains cas, remplacer totalement le calcium.

2. *Versuchs-Station*, t. XIII, pp. 321 et 401.

TABLEAU XIV. — Absorption du Nitrate de Lithium par du Sarrasin.

163 plantes, 100 cc. de solution contenant 20 milligr. d'azote.

	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapo- ration avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes	
				dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Début.	—	10.0	—	—	—
3 ^e jour.	6	8.7	1.2	3.7	1.8
5 ^e —	15	9.1	2.6	1.9	0.9
7 ^e —	14	9.3	2.5	2.3	1.1
9 ^e —	7	9.7	1.3	0.9	0.4
11 ^e —	5	9.4	0.9	1.2	0.6
13 ^e —	3	9.1	0.6	0.9	0.4
Totaux et moy. . .	50	—	9.1	10.9	0.9

NITRATE DE BARYUM

En dernier lieu, nous mentionnerons l'action du nitrate de baryum sur une culture de ray-grass et sur du colza.

TABLEAU XV. — Absorption du Nitrate de Baryum par du Ray-grass.

100 c.c. de liquide contenant 20 milligr. d'azote.

	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapo- ration avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes	
				dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Début.	—	10.0	—	—	—
3 ^e jour.	4	8.9	0.8	2.9	1.0
6 ^e —	8	9.3	1.4	0.7	0.2
9 ^e —	8	9.0	1.5	2.0	0.7
10 ^e —	7	9.7	1.2	0.1	0.1

A la solution de nitrate de baryum on substitue 100 cc. de solution de nitrate de potassium contenant 20 milligr. d'azote.

10 ^e —	—	10.0	—	—	—
12 ^e —	5	10.4	1.0	0.3	0.15
14 ^e —	6	10.8	1.2	0.5	0.25

A la solution de nitrate de potassium on substitue 100 cc. de solution de nitrate de calcium contenant 20 milligr. d'azote.

14 ^e —	—	10.0	—	—	—
16 ^e —	8	10.4	1.6	0.8	0.4
Totaux et moy. . .	46	—	8.7	7.3	0.5

Ray-grass. — Le ray-grass du tableau XV a absorbé, au début,

une faible quantité de nitrate de baryum. Assez rapidement les plantes ont pris proportionnellement plus d'eau que de sel et la concentration du liquide s'est accrue. Le 10^e jour il était manifeste que le ray-grass était empoisonné par le baryum, car les feuilles commençaient à jaunir.

A ce moment, on a recherché si ces plantes, qui se refusaient à absorber des quantités appréciables de nitrate de baryum, seraient capables de prendre un autre nitrate non toxique. Le vase de culture et les racines furent donc lavés à l'eau pure, puis avec une solution de nitrate de potassium dont on introduisit ensuite 100 c. c. contenant 20 milligr. d'azote. On voit dans le tableau que ce liquide, loin de s'appauvrir, s'enrichit et que les quantités d'azote absorbées sont très faibles. Il en est de même lorsqu'au nitrate de potassium on substitue du nitrate de calcium.

Ainsi ces sels ne pénètrent pour ainsi dire plus dans ces végétaux qui ont absorbé du nitrate de baryum. Les cellules sont empoisonnées et incapables de saisir ce qu'en temps normal elles prennent si volontiers.

Environ huit jours après, quoique l'on eût fourni un liquide renfermant des aliments convenables, chaux, potasse, acide phosphorique, toutes les feuilles étaient mortes ; mais bientôt de nouvelles feuilles apparaissaient, saines et bien vertes ; les plantes n'avaient donc pas été tuées.

Il y a là un fait digne de remarque : les racines ne semblaient pas avoir souffert ; un séjour de plus d'une semaine dans le nitrate de baryum ne les a pas fait périr ; on les a placées dans une solution non toxique ; le nitrate de baryum qu'elles avaient absorbé les a quittées et a cheminé assez rapidement jusque dans les feuilles, que sa présence a fait périr. Généralement, les nitrates persistent fort longtemps dans les racines et ne les abandonnent pas avec une telle rapidité.

Colzas. — Le tableau XVI montre que les colzas éprouvent pour le nitrate de baryum la même répugnance que le ray-grass. Après une semaine, on a mis fin à l'expérience ; les colzas étaient très jaunes et évidemment malades. Ils n'avaient absorbé que 5 mg. 6 d'azote ; il était intéressant de voir s'ils avaient pris une quantité correspondante de baryum.

Les plantes furent bien lavées à l'eau froide, puis incinérées ; dans la solution chlorhydrique des cendres on dosa le baryum ;

on en trouva 23 milligr. Or, d'après le poids d'azote absorbé, les plantes devraient renfermer 27 mg. 4 de baryum. Si l'on remarque qu'une faible erreur du chiffre d'azote entraîne une erreur quintuple pour le chiffre calculé du baryum, on admettra que ces deux nombres sont assez voisins pour que l'on puisse affirmer que le nitrate de baryum est bien entré sans changement dans nos plantes.

TABLEAU XVI. — Absorption du Nitrate de Baryum par les Colzas.

100 c. c. de liquide contenant 20 milligr. d'azote.

	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapo- ration avait été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes	
				absorbé dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.
	— gr.	— milligr.	— milligr.	— milligr.	— milligr.
Début.		10.0			
3 ^e jour.	7	9.6	1.4	2.2	1.1
5 ^e —	7	9.5	1.3	1.5	0.7
8 ^e —	16	10.3	3.0	1.9	0.6
Totaux et moy. . .	30		5.7	5.6	0.8

Un certain nombre de nitrates sont donc toxiques, et cela à des degrés variables. Au début une faible quantité de sel s'introduit dans le végétal, l'empoisonne et le rend incapable d'absorber, non seulement le sel toxique, mais encore un autre nitrate pris très avidement en temps normal. Si l'action du sel nuisible n'a pas été trop prolongée et que l'on fournisse une nourriture convenable, il peut, pour certaines plantes, y avoir formation de nouveaux organes aériens, tandis que les anciens dépérissent complètement.

CHAPITRE II

CAUSES DE L'ACCUMULATION DES NITRATES

Il est donc bien établi que les plantes peuvent absorber proportionnellement plus de nitrate que d'eau; par suite, il est à prévoir que le liquide renfermé dans les plantes doit être plus riche en sel que la solution qui a fourni ce sel; on pourra alors conclure que le nitrate s'accumule dans la plante, comme le fait un corps qui s'y insolubilise.

Déjà les recherches de MM. Berthelot et André ont fait voir que les plantes qu'ils ont analysées renfermaient une solution de nitrate bien plus riche que celle qui peut exister dans le sol. Il est aisé d'observer des faits semblables sur divers végétaux.

Ainsi, nous avons analysé des racines de paturin venant dans un sol qui, en place, ne renferme jamais plus de 3 à 4 milligr. d'azote nitrique par kilo, pour une teneur en eau de 16 à 20 p. 100; la solution la plus concentrée contiendrait donc, dans ces conditions, 2 mg. 5 d'azote nitrique pour 100 gr. d'eau. Or, 100 gr. de racines de ce paturin renfermaient 78 gr. d'eau et 22 mg. 6 d'azote nitrique, ce qui correspond à une concentration de 29 milligr. d'azote pour 100 gr. d'eau. Le liquide des racines est donc bien plus riche en nitrate que ne l'est le liquide du sol.

Pour des colzas élevés dans des solutions à 20 milligr. d'azote dans 100 gr., on trouve que 100 gr. d'eau des racines renferment 240 milligr. d'azote nitrique. Les autres plantes fournissent des chiffres analogues.

Le liquide des racines s'enrichit donc bien aux dépens de la solution qui baigne ces organes. Le sel y pénètre et s'y comporte comme s'il était insolubilisé.

Les observations des divers auteurs que nous avons cités prouvent que le protoplasma vivant est imperméable du dedans au dehors pour les corps dissous qu'il renferme; en particulier, une

cellule ayant absorbé du salpêtre ou du sel marin ne l'abandonne à l'eau pure que si la membrane éclate par suite d'une trop forte pression intérieure. On a mis en doute l'imperméabilité parce que l'on a observé qu'une cellule chargée de sel diminue sa pression osmotique lorsqu'elle se trouve plongée dans de l'eau pure ; cette diminution a été attribuée au départ d'un corps dissous ; aujourd'hui, on sait que cette diffusion externe n'a pas lieu et on a dû chercher d'autres explications à cet abaissement de la pression osmotique¹.

L'observation journalière nous montre d'ailleurs que la plante vivante retient les nitrates comme s'ils étaient insolubles : les végétaux qui croissent en pleine terre sont quelquefois gorgés d'azotate de potasse, malgré les eaux souterraines qui baignent leurs racines et les pluies qui lavent leurs feuilles. Lorsque l'on prépare des plantes pour des dosages de nitrate, on lave les racines à l'eau pour éliminer la terre adhérente, et cependant ces racines sont encore chargées d'azote nitrique.

En immergeant des racines, ou des plantes entières, vivantes, dans de l'eau froide, pendant vingt-quatre heures et plus, on peut s'assurer que cette eau n'a pas dissous de nitrate.

D'autre part, les plantes tuées par l'action de la chaleur ou par la dessiccation perdent cette faculté de retenir les nitrates qui est donc liée à la vie végétale ; elles cèdent alors aisément leur contenu à l'eau froide.

Si, au lieu de tuer la plante par la chaleur, on emploie le chloroforme ou l'éther, on observe le même phénomène. Le nitrate est encore aisément enlevé par l'eau froide.

L'expérience suivante résume et précise ces faits.

Un lot de pieds de paturin fut divisé en trois parts de 100 gr. chacune, soit 22 gr. de matière sèche.

La première portion fut séchée à 100°, puis épuisée par de l'eau bouillante ; après trois lavages, la matière ne donnait plus aucune réaction avec le sulfate de diphénylamine. Les eaux de lavage furent concentrées au bain-marie et introduites dans l'appareil à dosage ; on obtint 36 c.c. de bioxyde d'azote, représentant 22 mg. 6 d'azote nitrique.

1. M. van Rysselberghe admet que dans la cellule il y a précipitation à l'état insoluble de corps primitivement dissous.

Le deuxième lot fut immergé vingt-quatre heures dans un litre d'eau froide; après ce laps de temps, la réaction de la diphénylamine sur des fragments de plante était aussi violente que la veille; elle était faible, mais sensible, pour le liquide. Celui-ci fournit, à l'analyse, 0 cc. 2 de bioxyde d'azote, soit 0 mg. 4 d'azote nitrique. Les plantes elles-mêmes furent épuisées à l'eau bouillante et fournirent 34 cc. 7 de AzO , soit 21 mg. 8 d'azote nitrique.

Le troisième échantillon de plantes fraîches fut soumis pendant une heure à l'action des vapeurs de chloroforme, puis placé dans un litre d'eau froide. Après vingt-quatre heures, la matière présentait encore faiblement la réaction des nitrates; cette réaction devint nulle lorsque les plantes eurent été lavées quelques instants. Le liquide renfermait 21 mg. 3 d'azote nitrique.

En épuisant alors les plantes par l'eau bouillante, on trouvait qu'elles ne contenaient plus que 0 mg. 2 d'azote nitrique.

Ainsi, la plante vivante retient parfaitement les nitrates; elle les abandonne complètement aussitôt qu'elle est tuée, quelle que soit la cause de sa mort.

Cette expérience a été répétée un grand nombre de fois sur des plantes très différentes : amarante, bourrache, colza, mercuriale, glaciale, etc., et toujours avec le même résultat. Si la plante est très fragile, comme c'est le cas pour la glaciale ficoïde, on brise inévitablement quelques organes et l'eau froide enlève une faible quantité de nitrate.

On voit donc que les plantes peuvent conserver dans leurs cellules des quantités de nitrate malgré l'eau qui baigne leurs racines dans le sol et les lavages auxquels la pluie soumet leurs parties aériennes. On comprend aussi pourquoi les organes morts, racines ou feuilles, ne contiennent pas de nitrate à la fin de la période de végétation active (pour des plantes chez lesquelles une fraction importante de l'azote nitrique absorbé n'est pas élaborée); c'est que, généralement, ils ont été lavés par les pluies; avant la saison pluvieuse, il arrive fréquemment, au contraire, que des feuilles sèches, comme celles des betteraves ou du maïs, soient très chargées de nitrate.

Il y a donc accord parfait entre ces observations, faites quantitativement, et celles des micrographes qui ont étudié des cellules isolées. Nægeli, Sachs, De Vries ont observé en effet depuis

longtemps qu'au moment de sa mort, le protoplasma toujours modifié, de la même façon quelle que fût la cause de cette mort, température élevée, dessiccation, agents chimiques, laissait diffuser des matières colorantes qu'il retenait obstinément tant qu'il était vivant.

Les nitrates pénètrent aisément au travers du sac protoplasmique; cela est mis en évidence par leur facile absorption. Cependant, les auteurs qui ont fait des observations microscopiques sur la pénétration du salpêtre s'accordent à dire que le passage est très lent. Selon nous, cela doit tenir à ce qu'ils employaient des solutions beaucoup plus concentrées que les nôtres, à 3 ou 4 p. 100 au lieu de 0,2 p. 100. En outre, tout porte à croire que le protoplasma n'est pas le même pour toutes les plantes ni pour toutes les cellules d'une même plante; son intraméabilité est variable.

C'est d'ailleurs ainsi que l'on peut concevoir comment diverses plantes, poussant ensemble dans le même sol, renferment des proportions très différentes de nitrates; il faut du reste ajouter, avec Frank, que la vitesse de leur élaboration est variable d'une plante à une autre.

Faut-il maintenant admettre que le nitrate persiste dans le suc cellulaire parce qu'il s'unit à des substances préexistantes, comme Pfeffer a montré que c'était le cas le plus souvent pour les matières colorantes? On est plutôt tenté d'expliquer, avec De Vries, l'accumulation par des propriétés osmotiques spéciales du protoplasma vivant; c'était aussi l'opinion du regretté Vesque, qui comparait le sac protoplasmique à une véritable trappe. On peut cependant imaginer une explication qui tient à la fois aux deux précédentes. Il est certain que le protoplasma lui-même absorbe les liquides; c'est un fait visible avec les matières colorantes; il doit absorber des solutions salines et les conserver lui-même, car parfois il n'y a pas de vacuoles, et le protoplasma est une masse gorgée d'eau. Le sel peut y être retenu par des propriétés absorbantes particulières de l'ordre de celles qui permettent à l'argile colloïdale de retenir certains sels, que, d'ailleurs, elle laisse diffuser au dehors lorsqu'on la contracte par la dessiccation.

Il est aisé de se rendre compte que les sels à l'intérieur du suc cellulaire n'y sont pas retenus sous la forme d'une combinaison insoluble ou colloïde : ils y conservent (tout au moins une

fraction de la quantité introduite) leurs propriétés physiques.

En effet, il est aujourd'hui démontré que la plasmolyse causée par le salpêtre ou le sel marin n'est que temporaire; la contraction due au départ de l'eau cesse peu à peu par suite de la pénétration du sel; comme la cellule peut alors résister à l'action plasmolysante d'une solution précédemment hyperisotonique, qu'elle conserve sa turgescence tandis qu'elle l'aurait perdue si, au préalable, elle n'avait pas séjourné dans une dissolution saline, il faut conclure que sa pression osmotique s'est accrue. Si le sel avait contracté une combinaison avec un corps préexistant dans le suc cellulaire, le nombre de molécules en solution n'aurait pas varié, le poids moléculaire seul aurait augmenté; par suite, la pression osmotique serait restée constante et la cellule se plasmolyserait aussi aisément après l'introduction du sel qu'auparavant. C'est pour cette raison qu'il nous est difficile d'admettre une comparaison entre la fixation des matières colorantes et l'accumulation des sels solubles.

Il ne nous paraît pas non plus bien licite de comparer l'absorption des sels à la fixation de l'ammoniaque par l'albumine des protéosomes de Lœw et Bokorny ¹. Cette albumine jouit de propriétés spéciales qui l'ont fait surnommer albumine active; en particulier elle peut fixer l'ammoniaque, mais seulement lorsqu'elle est vivante; les protéosomes morts sont incapables d'opérer cette fixation. L'ammoniaque est un corps qui est doué d'une activité chimique autrement considérable que celle du salpêtre ou du chlorure de sodium, de sorte qu'il est bien difficile d'établir un rapprochement entre les deux phénomènes.

On doit donc considérer le protoplasma vivant comme perméable du dehors au dedans pour les matières salines et imperméable du dedans au dehors. On peut alors se demander comment les substances absorbées cheminent dans les divers organes de la plante. Il ne nous appartient pas de discuter ce point : disons cependant que l'on en voit la possibilité lorsque l'on envisage la continuité du protoplasma dans toute la plante et ses mouvements de cyclose. Janse ² a montré en effet que les parois des vacuoles, ou tonoplasma de Went ³, sont perméables dans les deux

1. *Revue générale de botanique*, 1894, p. 191.

2. *Kon. Akademie van Wetenschappen*, Amsterdam, 1888.

3. *Archives néerlandaises*, t. XXI (1886), p. 283.

sens ; on conçoit que ces vacuoles soient entraînées par les mouvements du protoplasma et cèdent en chemin les matières solubles qu'elles renferment. Ceci vient à l'appui de la théorie de De Vries qui, prouvant qu'une substance soluble mettrait plus d'une année à cheminer par diffusion des racines à l'extrémité supérieure d'un végétal d'un mètre de hauteur, pense que les mouvements de cyclose doivent jouer un rôle important pour le transport ¹.

1. *Bot. Zeitung*, 1885, nos 1 et 2.

CHAPITRE III

VARIATIONS DE L'ABSORPTION

Grâce à cette faculté d'absorber et d'accumuler l'azote nitrique, les végétaux prennent rapidement celui qui se trouve dans le sol, bien qu'il y soit en minime proportion, et ils en absorbent une quantité bien plus forte que celle qui leur sera nécessaire pendant toute leur existence; tel est le cas du maïs, des betteraves, des amarantes, etc.

On conçoit qu'il doit y avoir une limite à cette absorption; cette limite dépendra de la nature des plantes, de leurs dimensions, et, vraisemblablement aussi, de celles du sac protoplasmique. Si les choses se passent comme si le protoplasma insolubilisait l'azote nitrique, il n'y aura plus d'absorption lorsque le protoplasma sera saturé. En continuant donc à fournir des nitrates à nos plantes, il doit arriver un moment où il y aura saturation, où le sel ne sera plus absorbé, ou le sera du moins dans une mesure assez faible correspondant à la formation lente de matières albuminoïdes.

C'est ce qui ressort bien des chiffres contenus dans les tableaux précédents et aussi des résultats obtenus dans deux expériences entreprises dans un but que nous exposerons ultérieurement; ces résultats sont résumés dans les tableaux XVII et XVIII.

Dans l'expérience XVII, on donnait à des colzas une solution renfermant du nitrate de potassium et du nitrate de calcium, en quantités équivalentes; la concentration du liquide était variable, elle est toujours indiquée. La culture n° XVIII a reçu du nitrate de sodium et du nitrate de calcium en quantités équivalentes.

Arrêt de l'absorption. — Considérons les expériences qui ont été d'assez longue durée et laissons de côté celles qui portent sur des nitrates toxiques. Nous voyons qu'à partir d'une certaine époque, les plantes ne prennent plus de nitrate; l'absorption se

TABLEAU XVII. — Absorption de différents nitrates par des Colzas.

EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évaporati- on avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes		
			absorbé dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.	
Début. 150 cc. de solution de nitrates de potassium et de calcium, contenant 30 milligr. d'azote.					
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	
		10.0			
3 ^e jour.	27	2.8	5.4	23.1	12.5
Liquide enlevé; remis 100 cc. de solution de nitrates de potassium et de calcium, contenant 80 milligr. d'azote.					
3 ^e —		40.0			
9 ^e —	32	27.9	23.6	42.1	7.0
Liquide enlevé; remis 100 cc. de solution de nitrates de potassium et de calcium, contenant 90 milligr. d'azote.					
9 ^e —		30.0			
16 ^e —	92	53.0	55.2	28.5	4.4
Pendant 11 jours on donne seulement de l'eau distillée. Le 27 ^e jour on met 150 cc. de solution de nitrates de potassium et de calcium, contenant 90 milligr. d'azote.					
27 ^e —		30.0			
30 ^e —	31	34.5	18.6	7.9	2.6
34 ^e —	52	58.3	35.9	4.0	1.0
Liquide enlevé; remis 150 cc. de solution de nitrates de potassium et de calcium, contenant 90 milligr. d'azote.					
34 ^e —		30.0			
37 ^e —	34	37.6	20.4	2.8	0.9
38 ^e —	10	41.0	7.5	0.3	0.3
Liquide enlevé; remis 150 cc. de solution de nitrate de calcium contenant 30 milligr. d'azote.					
38 ^e —		10.0			
39 ^e —	20	12.0	4.0	— 1.1	— 1.1
Pendant trois semaines on donne une solution nutritive sans azote; puis on met 100 cc. de solution de nitrate de potassium contenant 20 milligr. d'azote.					
64 ^e —		10.0			
67 ^e —	37	5.0	7.4	13.7	4.6
Solution nutritive sans azote pendant 9 jours, puis 100 cc. de solution de nitrate de potassium contenant 20 milligr. d'azote.					
76 ^e —		10.0			
80 ^e —	10	9.4	2.0	3.1	0.8
Totaux et moy. . .	345	0	180.0	124.4	1.6

TABLEAU XVIII. — Absorption de différents nitrates par des Colzas.

	EAU évaporée,	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapora- tion avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes	
				dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.
Début.	100 cc. de solution de nitrates de sodium et de calcium contenant 20 milligr. d'azote.				
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
		10.0			
4 ^e jour	12	1.2	2.4	17.9	4.5
	Liquide enlevé; mis 150 cc. de solution de nitrates de sodium et de calcium, contenant 30 milligr. d'azote.				
4 ^e —		10.0			
6 ^e —	23	5.8	4.6	15.3	7.6
	Liquide enlevé; mis 100 cc. de solution de nitrates de sodium et de calcium, contenant 80 milligr. d'azote.				
6 ^e —		10.0			
12 ^e —	47	40.1	37.6	37.5	6.2
	Liquide enlevé; mis 150 cc. de solution de nitrates de sodium et de calcium, contenant 90 milligr. d'azote.				
12 ^e —		30.0			
19 ^e —	51	40.5	30.6	9.9	1.4
	Pendant 11 jours on fournit une solution nutritive sans azote, puis on donne 150 cc. de solution de nitrates de sodium et de calcium contenant 90 milligr. d'azote.				
30 ^e —		30.0			
33 ^e —	15	27.5	9.0	15.8	5.3
37 ^e —	22	31.6	12.1	2.8	0.7
	Liquide enlevé; mis 100 cc. de solution de nitrate de sodium, contenant 20 milligr. d'azote.				
37 ^e —		10.0			
39 ^e —	28	13.9	5.6	0	0
40 ^e —	12	18.0	8.0	— 0.8	— 0.8
	Liquide enlevé; mis 150 cc. de solution de nitrate de potassium, contenant 30 milligr. d'azote.				
40 ^e —		10.0			
41 ^e —	15	11.4	3.0	— 0.7	— 0.7
	Liquide enlevé; mis 150 cc. de solution de nitrate de potassium, contenant 20 milligr. d'azote.				
41 ^e —		10.0			
45 ^e —	16	11.5	3.2	0.3	0.1
	Pendant trois semaines, on fournit une solution nutritive sans azote, puis on donne 100 cc. de solution de nitrate de potassium contenant 20 milligr. d'azote.				
67 ^e —		10.0			
71 ^e —	22	10.6	4.4	3.5	1.2
Totaux et moy. . .	263	8	120.5	101.5	1.4

chiffre par une fraction de milligramme, elle est même quelquefois trouvée négative, ce qui provient des erreurs commises dans les calculs, où l'on admet que l'eau évaporée l'est uniquement par les plantes, ce qui n'est pas rigoureusement exact. On trouve, par exemple, que les colzas IV ne prennent plus d'azote nitrique à partir du 14^e jour; pour les sarrasins V, l'arrêt de l'absorption a lieu le onzième jour, et de même pour les autres cultures.

Après un temps variable il y a donc saturation du protoplasma. Il est à remarquer que lorsque les plantes se refusent à prendre un nitrate d'une base déterminée, elles sont incapables d'absorber un nitrate d'une autre base. C'est ainsi que les ray-grass du tableau XI, saturés de nitrates de sodium et de magnésium, n'ont rien pris à une solution de nitrate de potassium; de même les colzas de l'expérience XVIII, qui le 39^e jour ne prennent plus de nitrate de sodium, montrent la même indifférence pour du nitrate de potassium dont, cependant, on ne leur avait jamais donné une trace auparavant.

Ces faits ont été constatés à plusieurs reprises : des colzas n'ayant reçu que du nitrate de sodium n'ont pas absorbé de nitrate de calcium lorsqu'est venu le moment où ils ne prenaient plus de nitrate de sodium; des colzas saturés de nitrate de potassium et de calcium n'ont rien pris à une solution de nitrate de magnésium; des trèfles ne prennent pas de nitrate de calcium lorsqu'ils sont gorgés de nitrate de potassium.

D'autre part, nous avons fait remarquer que, lorsqu'un nitrate toxique n'est plus absorbé par des plantes, un nitrate inoffensif ne l'est pas davantage.

Nous pouvons donc dire que lorsqu'il y a saturation pour un nitrate d'une base donnée, tout autre nitrate est incapable d'être absorbé.

Cet état de saturation ne doit pas persister. En effet, l'azote nitrique absorbé est utilisé peu à peu à la formation de matières albuminoïdes; la provision d'azote nitrique diminuant et la proportion de matière protéique augmentant, ainsi que les dimensions et le nombre des cellules, il arrivera après un certain temps que les plantes absorberont de nouveau de l'azote nitrique. C'est ce que l'on a observé plusieurs fois. Par exemple, les ray-grass de l'expérience XI, saturés de nitrates de sodium et de magnésium, sont laissés trois semaines dans une solution nutritive sans azote;

ils peuvent alors appauvrir de nouveau une solution de nitrate de potassium, mais leur faculté d'absorption est faible et bientôt cesse complètement.

Les ray-grass de l'expérience XII se comportent de la même façon. Le 26^e jour on a constaté une absorption nulle; après avoir été privées d'azote pendant trois semaines, les plantes peuvent absorber 9 mg. 7 d'azote nitrique en quatre jours, puis encore 4 mg. 8 en quatre jours.

Les colzas du tableau XVII sont saturés le 39^e jour; pendant trois semaines on leur donne une solution nutritive mais pas d'azote; après ce laps de temps, la culture appauvrit rapidement une solution de nitrate de potassium et absorbe 13 mg. 7 d'azote en trois jours. Après un nouveau repos de neuf jours, on constate une nouvelle absorption, mais plus faible que la première puisqu'elle n'est que de 3 mg. 4 en quatre jours.

Un fait analogue, mais moins marqué, s'observe pour les colzas XVIII qui, restés trois semaines sans azote, peuvent prendre 3 mg. 5 d'azote nitrique à une solution de nitrate de potassium.

La faculté d'accumulation reprend donc lorsqu'un long séjour dans un liquide sans azote a permis aux plantes d'utiliser une partie de leurs réserves.

Ralentissement de l'absorption. — La saturation n'arrive pas brusquement, mais par degrés; c'est ce que nous allons faire ressortir. En effet, à mesure que l'absorption continue, elle se ralentit; ceci est bien mis en évidence par le changement de sens dans la variation de concentration du liquide qui baigne les racines; après une première période pendant laquelle la solution s'appauvrit, on observe presque toujours, si l'expérience dure assez longtemps, une seconde période pendant laquelle il y a concentration; successivement l'absorption de nitrate est proportionnellement supérieure puis inférieure à celle de l'eau.

On peut encore s'en rendre compte en considérant le rapport du poids d'azote absorbé à celui qui correspondrait à l'évaporation. Au début, ce rapport est plus grand que l'unité; souvent il atteint 8 ou 10, son maximum ne se produisant généralement qu'après quelques jours; puis il diminue, irrégulièrement il est vrai, sous l'influence de causes diverses, notamment de l'énergie de la transpiration; finalement il devient inférieur à l'unité; il peut même être égal à 0, quand l'absorption est nulle.

En examinant les tableaux on voit aussi que les nombres qui indiquent l'absorption moyenne en vingt-quatre heures vont en décroissant ; dans certains cas, cette diminution est due en partie à l'affaiblissement des dissolutions ; mais si l'on a soin de comparer les poids d'azote prélevés à diverses époques dans des liquides ayant sensiblement même teneur en nitrate, on peut s'assurer que les plantes ont un pouvoir d'absorption de plus en plus faible.

Pour ne citer qu'un exemple pris pour ainsi dire au hasard, les colzas du tableau VIII absorbent journellement plus de nitrate de calcium pendant les huit premiers jours que pendant les onze jours suivants ; or, pour cette seconde période, la concentration du liquide est plus grande que pour la première. Par conséquent, comme les poids d'azote absorbés en vingt-quatre heures sont plus faibles que précédemment, il faut bien admettre que le pouvoir d'attraction de la plante pour le sel va en diminuant. Toutes les autres cultures se prêteraient à des considérations semblables.

Il y a saturation progressive et il arrive un moment où la limite de *capacité* est atteinte.

De quoi dépend cette limite ? L'analyse des plantes venues en pleine terre nous apprend que la richesse en nitrate est très différente d'une variété à une autre ; quoique nous soyons ici dans des conditions toutes spéciales, il est intéressant de chercher comment l'absorption varie avec la nature de nos plantes.

INFLUENCE DE L'ESPÈCE SUR LA RAPIDITÉ DE L'ABSORPTION

Cette limite doit dépendre des dimensions du sac protoplasmique et par suite dans une certaine mesure de la quantité de protoplasma en présence ; il s'ensuit qu'une plante de grandes dimensions pourra absorber plus d'azote nitrique qu'une plante plus petite.

Comparons les poids d'azote nitrique absorbés par les différentes plantes lorsque la saturation est atteinte, en rapportant les chiffres à un même nombre de plantes. On voit que 100 jeunes colzas n'ont pu saisir que 9 mg. d'azote nitrique, que 100 sarrasins et 100 trèfles n'en ont pris respectivement que 16 et 6 mg., tandis que 100 pois en ont absorbé 76 mg. et que 100 maïs en ont pris 390 mg.

Les plantules issues de petites graines, comme les colzas, quoique destinées à devenir des plantes de fortes dimensions, ne peuvent prendre que de faibles quantités de nitrate, comparative-ment à ce qu'absorbent les plantules issues de grosses graines comme les maïs.

Remarquons en outre que les pois prennent beaucoup moins d'azote nitrique que les maïs, et cependant les deux graines sont à peu près de mêmes dimensions. Cette différence peut être due à la propriété que possèdent les légumineuses d'assimiler l'azote gazeux, encore que cette assimilation n'ait pas eu lieu pendant la durée de l'expérience.

Ces cas étant mis à part, il semble qu'il y ait une relation entre le poids de nitrate absorbé et celui de la substance vivante.

Pour bien démontrer, d'ailleurs, l'influence de la quantité de matières azotées en présence sur le poids d'azote nitrique absorbé, on procéda à l'expérience suivante. On prit des graines de maïs bien germées et on enleva les cotylédons; les plantes, ainsi privées de leurs réserves de matière azotée, continuèrent à vivre et furent placées, comme d'ordinaire, dans une solution de nitrate de potasse. Dans ces conditions, la quantité totale d'azote absorbée, une fois la limite de saturation atteinte, devait être moindre que celle qui correspond à la saturation d'un même nombre de plantes normales.

TABLEAU XIX. — Absorption du Nitrate de Potassium par des Maïs sans cotylédons.

75 plantes, 150 cc. de liquide contenant 35 mg. d'azote.

	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapora- tion avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes		RAPPORT de l'absorption vraie à l'absorp- tion corres- pondant à l'évapo- ration.
				dans l'intervalle des obser- vations.	en moyenne par jour.	
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	
Début.		11.7				
2 ^e jour.	1	10.4	0.2	4.0	4.0	20.0
3 ^e —	3	9.7	0.6	2.7	2.7	4.5
4 ^e —	2	8.9	0.3	2.7	2.7	9.0
8 ^e —	8	7.2	1.4	6.0	1.5	4.3
20 ^e —	25	5.3	3.6	7.9	0.6	2.2
21 ^e —	3	5.4	0.3	0.1	0.1	0.3
23 ^e —	9	5.9	1.0	— 0.1	— 0.05	0
Totaux et moyennes.	51	0	7.4	23.3	1.0	3.3

Le tableau XIX montre la marche de l'absorption. On voit qu'à partir du 20^e jour les plantes n'ont plus pris de nitrate. Elles en ont absorbé en tout 23 mg. 3, ce qui, pour 100 plantes, correspond à 31 mg. 1. Or, nous avons vu plus haut que 100 maïs possédant leurs cotylédons peuvent absorber 390 mg. d'azote nitrique, c'est-à-dire treize fois plus.

L'absorption se fait donc en raison de l'abondance de la matière azotée dans les jeunes plantes ou dans leurs réserves ; si, au contraire, l'azote nitrique avait été employé directement à la formation d'albuminoïdes nécessaires au développement des organes, son absorption aurait été d'autant plus active que ces albuminoïdes auraient fait défaut plus complètement.

Il est évident que dans la nature les choses ne se passent pas de la même façon. Nous nous sommes placé ici dans des circonstances tout à fait particulières ; pour simplifier le phénomène, nous avons pris des plantes qui n'avaient pas encore vécu aux dépens du monde extérieur et nous leur avons fourni une substance unique, du nitrate de potassium : elles étaient donc privées de diverses matières indispensables à leur développement. Au contraire, des plantes végétant normalement et ayant à leur disposition tous les éléments nécessaires à leur vie pourront former, avec l'azote nitrique absorbé, des matières albuminoïdes et de nouvelles quantités de protoplasma, et, par suite, accroître leur capacité pour le nitrate et arriver ainsi à en renfermer de grandes quantités.

La proportion de nitrate que contient une plante doit dépendre, comme nous l'avons dit, de la perméabilité de son protoplasma pour ce sel ; peut-être les légumineuses ont-elles un protoplasma peu perméable. La proportion d'azote nitrique doit varier aussi avec la facilité de formation des albuminoïdes dans la plante considérée.

Pour quelle cause exacte l'absorption d'un sel, d'un nitrate dans l'espèce, diminue-t-elle graduellement pour devenir nulle ? Nous n'avons fait que constater ce phénomène, et nous avons dit qu'il y avait saturation progressive. Si, comme c'est le cas pour les matières colorantes de Pfeffer, l'immobilisation dans la cellule vivante a lieu par suite de l'union du sel avec des corps préexistants dans le suc cellulaire, l'expression de saturation est exacte et doit être prise dans le sens qu'on lui accorde en chimie. Mais

si, au contraire, le sel persiste avec ses propriétés physiques, comme semblent le démontrer les expériences de plasmolyse, il faut considérer cette saturation comme un remplissage du sac protoplasmique. Pour comprendre pourquoi il y a ralentissement de l'absorption, il faut admettre que le sel, en s'accumulant, oppose un obstacle de plus en plus grand à l'introduction d'une nouvelle quantité de sel. Quel est cet obstacle? quel est le rôle de la pression osmotique qui croît vraisemblablement de plus en plus à l'intérieur de la cellule? C'est ce qu'il est difficile de dire, puisque l'on ne connaît pas de paroi qui soit perméable dans un sens et imperméable dans l'autre. Il ne paraît pas probable que la pression osmotique intérieure s'oppose à l'entrée du sel, puisque la plante, même après avoir absorbé une assez forte proportion de nitrate, peut encore, comme cela a été observé plusieurs fois, dépouiller le liquide extérieur de toute trace d'azote nitrique.

INFLUENCE DE LA CONCENTRATION DE LA SOLUTION SUR L'ABSORPTION

Il paraît évident *a priori* que l'absorption doit être influencée par la teneur en sel du liquide qui baigne les racines des plantes. Les cultures dont nous avons donné les résultats ne se prêtent pas aisément à des comparaisons, en ce qui concerne ce point particulier. Pour voir comment varie l'absorption avec la concentration du liquide, il faudrait que toutes les autres conditions fussent les mêmes, âge et dimensions des plantes et transpiration. Cependant, de l'ensemble de nos chiffres, on peut déduire que l'absorption croît avec la concentration du substratum, mais sans aucune régularité.

Nous avons alors disposé deux cultures de colzas composées d'un même nombre de plantes de même âge; à l'une, A, on fournissait une solution de nitrate de calcium à 21 mg. d'azote dans 100 c.c.; l'autre, B, recevait une solution de concentration double, soit à 42 mg. d'azote. Les analyses étaient faites simultanément sur les deux liquides. Les poids d'eau évaporés n'ont pas été tout à fait les mêmes, comme on peut le voir dans le tableau XX, ce qui fait que les comparaisons ne sont pas mathématiquement exactes.

TABLEAU XX. — Influence de la concentration sur l'absorption. Culture de Colzas dans des solutions de Nitrate de Calcium, 175 plantes dans chaque cas.

EAU évaporée,	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapora- tion avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes		
			dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.	
A. Solution à 21 milligr. d'azote nitrique dans 100 cc.					
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Début		10.5			
8 ^e jour	17	6.9	3.5	9.6	1.4
16 ^e —	22	4.0	3.0	5.5	0.7
Totaux et moy. . .	39		6.5	15.1	4.0
B. Solution à 42 milligr. d'azote nitrique dans 100 cc.					
Début		21.0			
8 ^e jour	14	17.4	5.9	12.1	1.7
16 ^e —	19	16.7	6.6	7.6	1.2
Totaux et moy. . .	33		12.5	19.7	1.3

Pour la culture A, dont la solution contenait 21 mg. d'azote dans 100 c. c., on a observé des absorptions de 9 mg. 6 et de 5 mg. 5; aux mêmes époques, la culture B, en liquide de concentration double, avait absorbé 12 mg. 1 et 7 mg. 6, quantités supérieures aux précédentes, mais qui sont loin d'être doubles. Un accroissement de concentration conduit donc à une augmentation dans l'absorption, sans qu'il y ait proportionnalité.

Nous avons vu des cas assez fréquents où l'absorption est peu ou pas influencée par la concentration; c'est ce qui arrive en particulier lorsque les plantes approchent de ce que l'on peut appeler leur point de saturation. Nous avons indiqué qu'à ce moment l'absorption est très faible ou nulle, même lorsque les solutions fournies présentent la concentration ordinaire du début¹.

1. M. van Rysselberghe a montré récemment (*Mém. Acad. Roy. Belgique*, t. LVIII) que lorsqu'une cellule végétale est plongée dans une solution saline ou autre, sa pression osmotique varie; la pression interne croît avec la concentration du liquide extérieur, et les accroissements suivent la loi de Weber, c'est-à-dire que, lorsque la concentration extérieure croît en progression géométrique, la pression intérieure ou concentration moléculaire, augmente en progression arithmétique;

INFLUENCE DE L'ÉVAPORATION SUR L'ABSORPTION

Les variations de transpiration que peut subir une plante doivent influencer sur le poids de sel absorbé. Un accroissement de la transpiration est accompagné d'une augmentation égale en moyenne à la quantité d'eau prise dans le liquide; mais ce que nous avons vu jusqu'ici tend à montrer que la transpiration est loin de régler l'absorption.

En effet, les poids d'azote pris journellement par les plantes décroissent constamment à mesure que l'absorption continue; or, si l'on considère les poids d'eau évaporés, on constate qu'ils vont généralement en augmentant. Ainsi, pour pousser les choses à l'extrême, il arrive un moment où l'absorption est nulle, et c'est souvent à cette époque que la transpiration est maximum.

Quelques-uns des nombres obtenus précédemment peuvent nous servir à montrer que la transpiration modifie l'absorption. Comparons pour une même culture des absorptions à des dates très rapprochées (de façon à réduire au minimum l'influence de l'absorption antérieure), pour lesquelles les quantités d'eau évaporées sont différentes; mais ne considérons que les nombres qui se rapportent à des liquides de concentrations identiques ou bien voisines.

Nous avons ainsi réuni quelques exemples dans le tableau XXI. On y trouve les époques des observations, les variations de teneur en azote des liquides, l'évaporation, le poids d'azote absorbé et enfin, pour faciliter les comparaisons, le poids d'azote absorbé rapporté à 10 grammes d'eau évaporés. Ces derniers nombres sont entachés d'une légère erreur, toute l'eau évaporée n'a pas été transpirée par les plantes, les comparaisons ne sont donc pas absolument rigoureuses. Les observations à rapprocher sont groupées par deux et une fois par trois.

Nous voyons que du 9^e au 10^e jour les maïs ont évaporé 8 gr. d'eau et absorbé 10 mg. 4 d'azote, ce qui ferait 13 mg. pour une évaporation de 10 gr. Le lendemain, on a favorisé la transpiration

mais cette augmentation intérieure n'est due qu'en partie à l'introduction de la substance du liquide extérieur. D'ailleurs, le phénomène est plus simple dans ce cas de cellules isolées et immergées dans le liquide que dans le cas de plantes entières soumises à l'évaporation.

en enlevant la cage, 64 gr. d'eau ont été évaporés, l'absorption est montée à 15 mg. 4, soit 2 mg. 6 seulement pour une évaporation de 10 gr. ; il est vrai qu'ici la solution était moins riche que la veille, mais la différence de concentration n'est pas suffisante pour expliquer l'absorption relativement faible. D'ailleurs, le lendemain on a fourni un liquide plus riche, contenant 10 mg. d'azote pour 50 c. c. ; l'évaporation a été de 13 gr., soit cinq fois moindre que la veille, tandis que l'absorption est la même, 15 mg. 5.

TABLEAU XXI. — Influence de l'évaporation sur l'absorption.

CULTURES	ÉPOQUES des observations.	CONCENTRATION (pour 50 c. c.)		EAU évapo- rée.	POIDS d'azote ab- sorbé.	ABSORPTION d'azote rapportée à une évapora- tion de 10 gr.
		initiale.	finale.			
Maïs n° III.	1 {	du 9 ^e au 10 ^e jour.	milligr. 40.0	milligr. 6.9	gr. 8	milligr. 10.4
		du 10 ^e au 11 ^e jour.	6.9	2.7	64 ¹	15.4
		du 11 ^e au 12 ^e jour.	40.0	5.3	13	15.5
	2 {	du 21 ^e au 22 ^e jour.	6.4	7.2	18	1.3
		du 22 ^e au 23 ^e jour.	7.2	8.3	33	3.3
	3 {	du 23 ^e au 24 ^e jour.	8.3	8.6	22	3.0
		du 24 ^e au 25 ^e jour.	8.6	15.0	69	7.0
	4 {	du 25 ^e au 27 ^e jour.	10.0	13.5	72	4.4
		du 28 ^e au 30 ^e jour.	10.0	22.2	115 ¹	7.7
	Colzas n° IV. {	du 18 ^e au 20 ^e jour.	6.0	7.3	8	— 0.3
		du 20 ^e au 21 ^e jour.	7.3	10.5	28 ¹	+ 2.5
Trèfles n° VI. {		du 24 ^e au 26 ^e jour.	6.7	7.9	10	— 0.2
		du 26 ^e au 27 ^e jour.	7.9	9.7	29 ¹	+ 2.1

1. Cage enlevée.

Ce cas montre bien que la transpiration ne commande pas l'absorption. Pour les périodes suivantes, il y a un certain parallélisme entre les deux séries de nombres. Dans un même exemple, l'absorption croît en même temps que l'évaporation ; les poids d'azote absorbés rapportés à 10 gr. d'eau évaporés ne sont pas très dissemblables.

Il est même à remarquer que dans le dernier exemple qui a trait aux maïs, l'absorption et l'évaporation ont crû dans le même rapport, bien que nous ayons opéré sur des plantes n'ayant plus que peu d'appétence pour le nitrate et dont la transpiration est énergique; aussi voyons-nous les solutions se concentrer.

Les colzas et les trèfles ont été considérés à un moment où l'absorption était devenue nulle; en exagérant l'évaporation on a pu cependant leur faire prendre un peu de nitrate.

A une augmentation de la richesse du liquide en sel correspond donc un accroissement de l'absorption, mais sans qu'il y ait proportionnalité. On conçoit ainsi aisément que des plantes qui, au début, appauvrissaient rapidement une solution de nitrate, n'y produisent ensuite que des variations de plus en plus faibles, et que, finalement, l'évaporation étant devenue prépondérante, tandis que l'appétence pour l'azote nitrique a diminué, il y ait concentration du liquide. •

DEUXIÈME PARTIE

DES CHLORURES DANS LES PLANTES

Dans la première partie de ce travail, nous avons examiné comment les nitrates étaient pris par les plantes et comment ils étaient retenus. Comme les azotates se trouvent fréquemment en très forte proportion chez certains végétaux, il y a lieu de se demander si cette facilité d'absorption et d'accumulation est spéciale à ces sels, et si d'autres composés solubles se comportent de la même façon.

Nous avons choisi les chlorures comme sels solubles à mettre en comparaison avec les nitrates. En effet, si le rôle de l'azote nitrique est bien déterminé et si son utilité est incontestable, il est loin d'en être de même pour le chlore. Il paraît démontré que les chlorures favorisent la migration de l'amidon, mais le chlore ne semble pas former dans les tissus végétaux des combinaisons indispensables à la vie de la plante; pour fixer les idées, le chlore n'est aucunement comparable au phosphore; il ne l'est pas non plus au soufre, qui forme des composés organiques bien connus.

Chez la plupart des végétaux terrestres les chlorures sont en quantité relativement faible; la question se pose de savoir si leur rareté tient à la composition du milieu où végète la plante, ou bien à une faible appétence des plantes pour le chlore. Il est certain que si le sol est riche en chlorures, les plantes qu'il porte le sont également; d'après Cloëz, les choux marins du bord de la mer renferment 75,8 de chlorures (de potassium et de sodium) pour 100 de cendres, tandis que les mêmes plantes venues sur une terre ordinaire au Muséum ne contiennent que 16,2 de chlorures pour 100 de cendres; la moutarde noire donne des chiffres analogues.

M. Dehérain a obtenu des haricots gorgés de chlorure de potassium en arrosant le sol qui les portait avec des solutions de chlo-

rure de potassium ou de chlorure de sodium, qui dans ce cas fait double décomposition avec les sels potassiques de la terre arable.

D'après MM. Berthaut et Crochetelle¹, le blé des régions salées de l'Habra en Algérie est quelquefois assez riche en chlorures pour que les tiges présentent des efflorescences de chlorure de potassium. Depuis, M. Bonjean² a trouvé que les raisins de ces mêmes terrains renferment normalement beaucoup de chlorures de potassium et de sodium.

Ces faits nous montrent que les chlorures pénètrent aisément dans les tissus végétaux; d'autre part, M. Dehérain a vu que des plantes placées dans des dissolutions étendues de chlorures pouvaient prendre plus de sel que d'eau. Il est donc à prévoir que les végétaux se comporteront vis-à-vis des chlorures à peu près comme ils le font vis-à-vis des nitrates.

1. *C. R.*, t. CXX, p. 691.

2. *C. R.*, t. CXXVI, p. 1275.

CHAPITRE I

ABSORPTION DES CHLORURES

J'ai répété les expériences de mon savant maître, en opérant comme je l'avais fait pour les nitrates. Le dispositif employé était identique à celui décrit précédemment. Le chlore existant dans les liquides de culture était dosé au moyen d'une solution étendue de nitrate d'argent dont 1 c. c. précipitait 1 mg. de chlore, en présence de chromate de potassium comme indicateur.

Chlorure de potassium. — Le tableau XXII indique la marche de l'absorption du chlorure de potassium par une culture de colzas.

On voit que le 18^e jour le chlore a été pris jusqu'à la dernière trace. Puis, jusqu'au 39^e jour, une nouvelle solution a été encore en s'affaiblissant; pendant les huit jours suivants le poids de sel absorbé est égal à celui qui correspond à l'évaporation. Finalement la solution se concentre, l'eau est prise en plus forte raison que le sel.

Comme pour les nitrates, la vitesse d'absorption du chlorure de potassium décroît peu à peu; c'est ce que montre dans la 2^e partie de l'expérience la diminution constante du rapport du poids du chlore prélevé à celui qui correspondrait à l'évaporation, si toute l'eau évaporée avait été transpirée par les plantes. Nous avons calculé ces rapports qui, sans présenter une grande exactitude, offrent l'avantage de montrer cette diminution de l'absorption. Ainsi, à partir du 27^e jour il est hors de doute qu'il y a réellement décroissance jusqu'à la fin.

Remarquons, en passant, que la concentration du liquide exerce une certaine influence; par exemple, on voit que du 15^e au 17^e jour, partant d'une concentration de 1 mg. 6 de chlore dans 50 c.c., l'absorption a été de 1 mg. 5; plus tard, du 18^e au 20^e jour, le liquide renfermant 10 mg. de chlore pour 50 c.c., 2 mg. 4 ont été pris.

TABLEAU XXII. — Absorption du Chlorure de Potassium par des Colzas.

265 plantes, 100 cc. de solution contenant 20 milligr. de chlore.

EAU	CHLORE contenu dans 50 cc. de liquide. évaporée.	CHLORE qui aurait été absorbé si l'évapora- tion avait seule été en jeu.	CHLORE absorbé par les plantes		RAPPORT de l'absorption vraie à l'absorp- tion corres- pondant à l'évapo- ration.
			dans l'intervalle des ana- lyses.	en moyenne par jour.	
—	—	—	—	—	—
gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	—
Début	10.0				
2 ^e jour	3	9.0	0.6	2.5	4.2
4 ^e —	3	7.5	0.5	3.4	6.8
6 ^e —	3	6.0	0.4	3.2	8.0
8 ^e —	4	5.3	0.5	1.7	3.2
10 ^e —	4	4.5	0.4	1.8	4.5
12 ^e —	9	3.5	0.8	2.2	2.5
15 ^e —	10	1.6	0.7	3.2	4.6
17 ^e —	8	0.5	0.2	1.5	7.5
18 ^e —	4	0	0.04	0.5	12.5

Liquide enlevé; remis 100 cc. de solution renfermant 20 milligr. de chlore.

18 ^e —	10.0				
20 ^e —	2	9.0	0.4	2.4	6.0
22 ^e —	2	8.3	0.3	1.7	5.7
24 ^e —	4	7.8	0.6	1.6	2.7
27 ^e —	3	7.1	0.4	1.7	4.2
29 ^e —	3	6.4	0.4	1.6	4.0
33 ^e —	4	5.5	0.5	2.0	4.0
39 ^e —	10	4.8	1.1	2.1	1.9
41 ^e —	1	4.8	0.1	0.1	1.0
47 ^e —	14	4.8	1.3	1.3	1.0
50 ^e —	9	5.1	0.8	0.6	0.7
61 ^e —	32	7.0	3.3	0.7	0.2
Totaux et moy. . .	132		13.3	35.8	2.7

Chlorure de sodium. — Nous ne pouvons, sur l'expérience XXIII, que répéter tout ce que nous avons dit sur la culture précédente.

La solution de chlorure de sodium s'appauvrit jusqu'à ne plus renfermer de chlore; une nouvelle solution s'appauvrit encore quelque temps, puis se concentre, et le sel n'est plus absorbé.

Le chlorure de sodium seul est pris aussi aisément que l'est le chlorure de potassium.

Le sel marin ne s'est pas montré toxique. D'ailleurs, d'après M. Coupin¹ il n'exerce pas d'influence fâcheuse sur les plantes

1. *Revue générale de botanique*, 1898, p. 177.

terrestres, lorsque la concentration de la solution ne dépasse pas 0.5 p. 100, sauf pour les pois, qui sont un peu plus sensibles et pour lesquels on ne doit pas aller au delà de 0.25 p. 100 ; avec des concentrations un peu plus élevées la croissance est retardée ; enfin, à la dose de 1.6 p. 100 en moyenne le sel marin est vénéneux. Or, notre liquide ne renfermait pas plus de 0.033 p. 100 de sel, ce qui est loin de la dose nocive.

TABLEAU XXIII. — Absorption du Chlorure de Sodium par des Colzas.

265 plantes, 100 cc. de liquide contenant 20 milligr. de chlore.

	EAU évaporée.	CHLORE contenu dans 50 cc. de liquide.	CHLORE qui aurait été absorbé	CHLORE absorbé par les plantes		RAPPORT de l'absorption vraie à l'absorp- tion corres- pondant à l'évapo- ration.
			de l'évapora- tion avait seule été en jeu.	dans l'intervalle des ana- lyses.	en moyenne par jour.	
			— — —	— — —	— — —	
Début	—	—	10.0	—	—	—
2 ^e jour	3	8.5	0.6	3.9	3.9	6.5
4 ^e —	7	7.5	1.2	2.9	1.4	2.4
6 ^e —	9	6.0	1.3	3.7	1.8	2.8
8 ^e —	5	5.1	0.6	2.0	1.0	3.3
10 ^e —	11	4.0	1.1	2.5	1.2	2.3
12 ^e —	5	2.8	0.4	1.8	0.9	4.5
15 ^e —	7	0.5	0.4	2.7	0.9	6.7
17 ^e —	5	0.1	0.05	0.4	0.2	8.0
18 ^e —	5	0	0.01	0.1	0.1	10.0

Liquide enlevé ; remis 100 cc. de solution renfermant 20 milligr. de chlore.

		10.0				
20 ^e —	3	9.0	0.6	2.5	1.2	4.2
22 ^e —	3	8.3	0.5	1.9	0.9	3.8
24 ^e —	5	7.8	0.8	1.7	0.8	2.1
27 ^e —	3	7.1	0.4	1.7	0.6	4.2
29 ^e —	2	6.4	0.3	1.5	0.7	5.0
33 ^e —	4	5.5	0.5	1.9	0.9	3.8
39 ^e —	8	5.5	0.9	0.9	0.15	1.0
41 ^e —	3	5.9	0.3	— 0.2	— 0.1	0
47 ^e —	14	7.7	1.6	— 0.2	— 0.03	0
50 ^e —	12	9.9	1.8	0	0	0
Totaux et moy. . .	114		13.4	31.7	0.64	2.4

ABSORPTION DU BROMURE ET DE L'IODURE DE POTASSIUM

Si l'on rencontre toujours des chlorures en plus ou moins fortes quantités chez les plantes terrestres, il n'en est pas de même des bromures et des iodures.

Etant donné que les chlorures sont aisément pris par les plantes, il était curieux de voir comment se comporteraient le bromure et l'iode de potassium.

TABLEAU XXIV. — Absorption du Bromure de Potassium par des Colzas.

265 plantes, 100 cc. de solution contenant 25 milligr. de chlore.

	EAU évacuée.	BROME contenu dans 50 cc. de liquide.	BROME qui aurait été absorbé si l'évaporat- ion avait seule été en jeu.	BROME absorbé par les plantes	
				dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.
				milligr.	milligr.
Début.	—	10.0	—	—	—
3 ^e jour.	3	6.8	1.0	7.4	3.5
5 ^e —	6	5.5	0.8	3.1	1.5
9 ^e —	9	3.6	1.0	4.1	1.0
12 ^e —	3	2.5	0.2	1.9	0.6
17 ^e —	18	2.0	0.9	1.5	0.3
23 ^e —	3	1.3	0.1	0.9	0.15
Totaux et moyennes.	44	—	4.0	18.6	0.8

Bromure de potassium. — On voit dans le tableau XXIV que les colzas ont pris le bromure de potassium de façon à appauvrir la solution; les poids de brome absorbés sont constamment supérieurs à ceux qui l'auraient été si la solution était entrée sans modification dans les plantes; comme les nombres sont plus forts que la réalité à cause de l'évaporation par la surface libre du liquide, les différences sont encore plus grandes que ne l'indiquent les chiffres du tableau.

Les plantes n'ont nullement souffert de cet aliment anormal. En vingt-sept jours elles ont pris 18 mg. 6 de brome, soit un peu moins que les colzas du tableau XXII n'ont pris de chlore dans le même temps, 24 mg. 1.

Iode de potassium. — Ce sel a eu au contraire des effets fâcheux pour la culture XXV. Les poids d'iode absorbés sont faibles et voisins de ceux qui correspondent à l'évaporation, inférieurs même à partir du 9^e jour. Plus tard, l'absorption a cessé, les plantes ont perdu leurs feuilles et sont mortes en peu de temps.

Tandis que le bromure de potassium se comporte comme le chlorure, est bien absorbé, et, à la dose offerte, ne s'est pas montré toxique, l'iode de potassium, au contraire, ne pénètre que difficilement dans les plantes et ne tarde pas à se montrer nuisible. Il y a là une distinction à faire entre les végétaux terrestres

et les végétaux marins : nous savons, en effet, que les fucus renferment toujours de petites quantités d'iode, qui d'ailleurs n'y est pas à l'état d'iodeure, mais est assimilé et entre comme constituant d'une substance organique stable de la plante ¹.

TABLEAU XXV. — Absorption de l'Iodure de Potassium par des Colzas.

265 plantes, 100 cc. de solution renfermant 20 milligr. d'iode.

	EAU évaporée.	IODE contenu dans 50 cc. de liquide.	IODE qui aurait été absorbé si l'évaporation avait seule été en jeu.	IODE absorbé par les plantes	
				dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Début.		10.0			
3 ^e jour.	10	9.5	2.0	2.9	1.4
5 ^e —	4	9.0	0.8	1.6	0.8
9 ^e —	8	9.0	1.4	1.5	0.4
12 ^e —	12	9.5	2.1	1.5	0.5
17 ^e —	13	10.0	2.5	1.9	0.4
23 ^e —	15	10.0	3.0	2.1	0.3
Totaux et moyennes.	62		11.8	11.5	0.8

Le degré de concentration a, au reste, une grande influence. Ainsi, Knop² a montré que des plantes végètent bien dans des solutions nutritives renfermant de faibles doses de bromure ou d'iodeure. Si les proportions s'élèvent, l'iodeure ne tarde pas à devenir nuisible, mais pour arriver au même résultat avec le bromure il faut accroître notablement la proportion de ce sel.

1. M. A. Gautier vient de démontrer que dans l'eau de mer, du moins vers la surface, l'iode est à l'état de composés organiques ; il n'est donc pas licite de comparer l'action des iodures sur les plantes terrestres à celle de l'iode sur les plantes marines. *C. R.*, t. CXXVIII, p. 1069 et t. CXXIX, p. 9.

2. *Gesell. d. Wissensch.*, Leipzig, 1885.

CHAPITRE II

ACCUMULATION DES CHLORURES

Les végétaux absorbent les chlorures aussi aisément que les nitrates; ils appauvrissent rapidement des solutions étendues de ces sels. Il est facile de montrer qu'ils les accumulent dans leurs cellules, comme si ces sels y étaient insolubilisés.

Comparons pour cela la teneur en chlore de la solution où baignent les racines, à la teneur en chlore du liquide intérieur de ces racines.

On obtient ainsi des nombres comme les suivants, qui sont relatifs à des maïs :

CHLORE dans 100 gr. d'eau de la solution extérieure.	CHLORE dans 100 gr. d'eau des racines.
— gr.	— gr.
0 200	0 318
0 400	0 494
0 400	0 484
0 050	0 250
0 025	0 049

Dans tous les cas, le liquide renfermé dans la racine présente une concentration (en chlore) supérieure à celle du liquide extérieur.

On peut s'assurer que, comme les nitrates, les chlorures sont retenus par la cellule vivante. L'eau froide n'enlève pas de chlore à la plante vivante; mais celle-ci étant tuée par la chaleur, la dessiccation, ou un agent chimique comme l'éther, les chlorures diffusent aisément et en totalité dans l'eau froide.

Ainsi, des salsolas plongés vingt-quatre heures dans de l'eau froide n'ont perdu que 3 mg. 2 de chlore provenant, soit d'organes morts, soit d'organes vivants blessés; les plantes tuées par

l'éther ont abandonné 188 milligr. de chlore à l'eau froide; l'eau bouillante n'a pu en extraire ensuite que 0 mg. 8, et les cendres de la matière ainsi épuisée n'en renfermaient que des traces.

Encore une fois, nous vérifions sur la plante entière ce qui avait été observé sur des cellules isolées. Toutes les substances que les végétaux absorbent et qui persistent à l'état soluble dans les cellules sont retenues par le protoplasma vivant, vraisemblablement par suite des propriétés osmotiques spéciales de cette membrane; peut-être y a-t-il quelquefois formation de combinaisons colloïdes instables avec des substances préexistantes, mais tout fait penser que cela n'est pas le cas pour les nitrates et les chlorures.

RÉPARTITION DANS LA PLANTE DU SEL SOLUBLE ABSORBÉ

Nous avons donné de nombreux exemples qui montrent que des plantes, dont les racines plongent dans une solution saline, peuvent absorber proportionnellement plus de sel que d'eau. On peut concevoir ce fait en admettant que la paroi protoplasmique est perméable du dehors au dedans et imperméable du dedans au dehors. C'est là une propriété qu'il est malaisé de s'expliquer mais que de nombreux auteurs ont observée; suivant l'expression de Janse, l'*intraméabilité* existe pour un grand nombre de corps solubles et l'*extraméabilité* n'a jamais été constatée. Puisqu'une cellule retient ainsi les substances solubles qu'elle renferme, comment ces substances cheminent-elles de cellule en cellule dans la plante?

Diverses théories ont été proposées; entre autres, De Vries pense que le transport se fait par les mouvements de cyclose du protoplasma. D'ailleurs la non-existence de l'*extraméabilité* n'est pas un obstacle au déplacement des corps solubles puisque, comme on le reconnaît aujourd'hui, le protoplasma est continu; grâce aux connexions protoplasmiques le cheminement par simple diffusion est possible.

On peut émettre une autre hypothèse. Si une cellule vivante plongée dans l'eau ne peut céder au liquide extérieur les substances qu'elle renferme, il n'est pas certain que les choses se passent de même lorsque cette cellule est en contact avec une autre; cette dernière pourrait avoir la faculté de prendre une

fraction du contenu de la première. Une cellule placée dans une solution saline absorbe le sel et l'eau en proportions différentes; la concentration du liquide cellulaire ne sera donc pas égale à celle du liquide extérieur; le rapport de ces deux concentrations sera un nombre a . Si la cellule immédiatement au-dessus de la première a la propriété d'agir sur le premier liquide cellulaire comme la première cellule agit sur le liquide extérieur, la concentration dans cette seconde cellule sera a^2 ; on trouvera a^3 pour la troisième et ainsi de suite. C'est-à-dire que la distance au liquide croissant en progression arithmétique, la concentration variera en progression géométrique de raison a . Si a est plus petit que l'unité, la concentration ira en diminuant de bas en haut dans la plante; si a est plus grand que 1, elle ira en augmentant. Comme nous constatons que la solution saline qui baigne les racines s'appauvrit, c'est ce dernier cas que nous devons observer.

A ce raisonnement on peut faire l'objection suivante: il y a lutte entre les deux cellules voisines, l'une tend à conserver la substance absorbée, l'autre tend à s'en emparer; pour que la concentration allât en croissant de bas en haut, il faudrait que les cellules ne fussent pas identiques, et que leur coefficient d'absorption pour la matière dissoute crût à mesure que l'on s'élève dans la plante. Si, au contraire, les parois cellulaires ont des propriétés semblables dans toute la plante, les matières solubles se déplaceront par diffusion, et à un moment quelconque la concentration devra être plus forte au bas qu'au sommet.

Lorqu'en certains points il y aura évaporation, la répartition du sel sera modifiée, et aux points de grande évaporation on observera des maxima de concentration.

J'ai cherché à déterminer quelle était l'hypothèse la plus vraisemblable. Pour cela il suffisait de faire absorber un sel à une plante et après un certain temps de déterminer la teneur en sel du liquide de portions de la plante prises à diverses hauteurs.

Comme sel j'ai employé le chlorure de potassium, qui ne subit pas de transformation dans l'organisme végétal et y persiste en nature; de plus, ce sel à doses modérées n'est pas toxique.

Le maïs est particulièrement commode pour ce genre d'expériences; grâce à la dimension des graines les plantules peuvent acquérir un développement relativement considérable sans qu'on leur fournisse de matière nutritive; en outre, les feuilles sont

engainantes et on peut aisément partager une plante en un certain nombre de portions égales.

Les solutions de chlorure étaient à des concentrations diverses; elles étaient renouvelées tous les deux ou trois jours de façon que pour une culture donnée la concentration restât sensiblement constante.

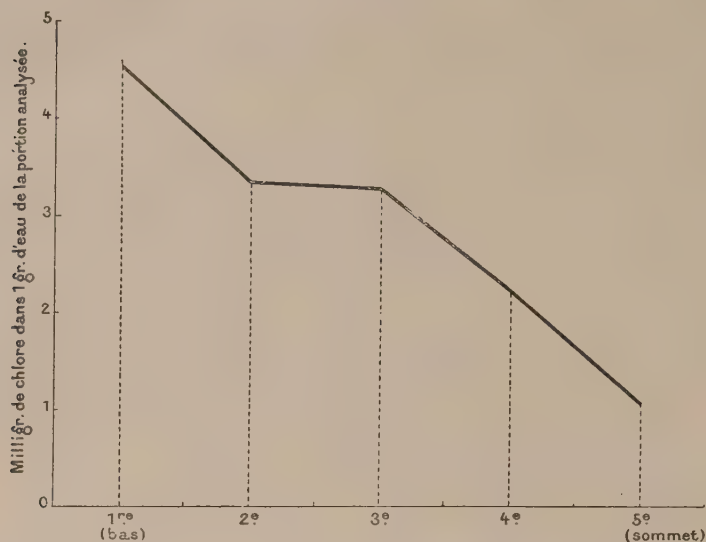
Lorsqu'on mettait fin à l'expérience, les tiges ayant de 25 à 30 centimètres de longueur, on commençait par éliminer les feuilles jaunes ou mortes, puis on séparait les parties aériennes, les racines et ce qui restait des cotylédons. Les parties aériennes étaient alors partagées en cinq portions d'égale longueur. Dans chacune de ces tranches on dosait l'eau et le chlore, on avait ainsi la concentration du liquide en chlore. Les racines étaient lavées à l'eau distillée puis essorées sur du papier à filtre jusqu'à ce que celui-ci ne fût plus mouillé; on dosait alors l'eau et le chlore. On a opéré de même pour ce qui restait des cotylédons; on n'y a jamais trouvé que des traces de chlore.

Le tableau suivant résume les déterminations faites sur ce sujet :

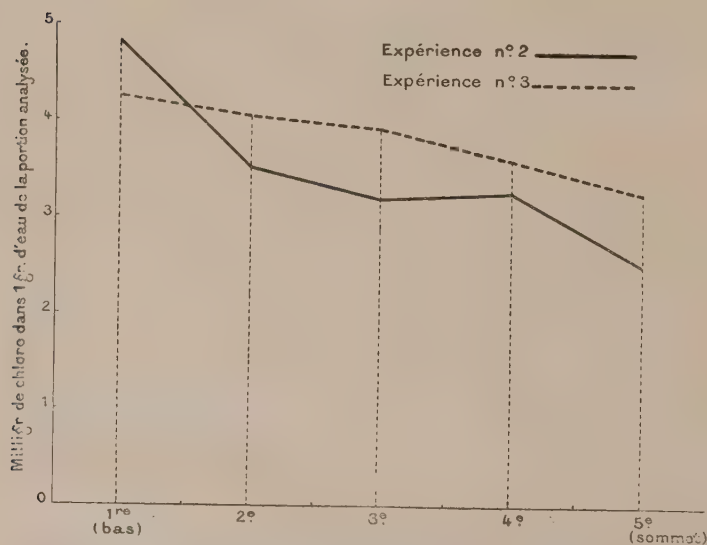
NUMÉROS	CONCENTRATION de la solution où plongent les racines. (chlore p. 100 gr.)	CHLORE dans 100 grammes d'eau des plantes.					
		Racines.	1 ^{re} portion (bas).	2 ^e portion.	3 ^e portion.	4 ^e portion.	5 ^e portion (sommet).
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
1	0 200	0 318	0 444	0 335	0 331	0 224	0 102
2	0 100	0 194	0 479	0 351	0 322	0 326	0 246
3	0 100	0 184	0 422	0 406	0 387	0 363	0 331
4	0 050	0 250	0 386	0 294	0 288	0 168	0 169
5	0 025	0 049	0 106	0 135	0 061	0 098	0 075

On peut traduire ces nombres par des courbes; en abscisses on a porté les distances qui séparent le collet des fragments analysés (les nombres relatifs aux racines ne figurent pas sur les courbes); les ordonnées représentent les concentrations exprimées en milligrammes pour 1 gr. d'eau de la portion analysée; on a admis que la concentration moyenne d'une tranche était celle du milieu de cette tranche.

La teneur en chlore de 100 gr. d'eau de la plante décroît à mesure que la portion considérée s'éloigne des racines; cependant les courbes 1, 2 et 4 présentent des paliers; entre les points

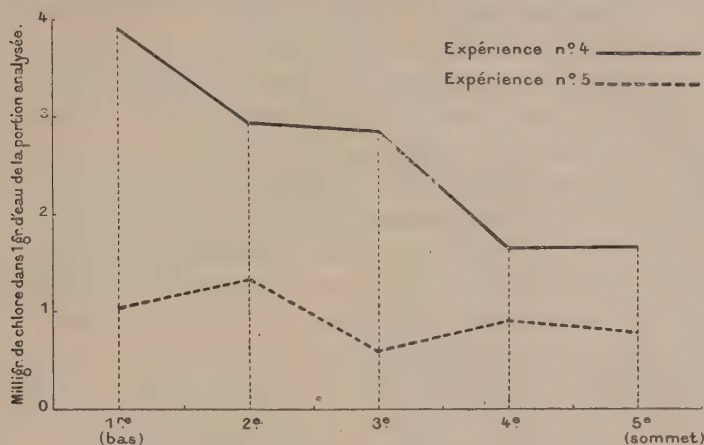


Distances qui séparent le collet des portions analysées, la tige étant partagée en 5 parties d'égales longueurs.



Distances qui séparent le collet des portions analysées, la tige étant partagée en 5 parties d'égales longueurs.

c où la courbe est horizontale la concentration est constante. La courbe 5 est beaucoup plus irrégulière.



Distances qui séparent le collet des portions analysées, la tige étant partagée en 5 parties d'égales longueurs.

Le liquide des racines est toujours beaucoup plus riche en chlore que ne l'est le liquide où elles plongeaient. On peut donc dire que l'ensemble des cellules de la racine possède pour le chlorure de potassium dissous un coefficient absorption plus grand que l'unité; il sera représenté par le rapport de la concentration du liquide des racines à celle de la solution extérieure.

On a ainsi la série de nombres :

1.6 1.9 1.8 5.0 2.0

En réalité, la concentration des racines doit être un peu supérieure à celle qui a été trouvée, le lavage à l'eau distillée a dû y introduire un supplément d'eau.

Considérons maintenant la portion de la tige voisine de la racine. Dans tous les cas le liquide de cette région est plus concentré que ne l'est le liquide de la racine; les rapports sont les suivants :

1.4 2.5 2.3 1.5 2.2

Ces nombres sont vraisemblablement un peu trop forts, les racines renfermant en réalité un peu moins d'eau que celle qui y a été dosée; mais l'erreur commise est trop faible pour modifier sensiblement ces nombres.

Constatons donc qu'ils sont plus grands que l'unité. Les cellules des parties aériennes sont capables d'enlever aux cellules des racines une partie de leur contenu salin et de s'enrichir à leurs dépens. Cette augmentation considérable de la concentration doit être attribuée en partie à ce que les tiges sont soumises à l'évaporation, tandis que pour les racines immergées dans le liquide l'évaporation est nulle.

Mais il est possible aussi que les cellules de la tige présentent pour le chlorure de potassium un coefficient d'absorption supérieur à celui que possèdent les cellules de la racine. En effet, dans toutes les parties d'une plante la pression osmotique est sensiblement la même; Stange ¹ a trouvé, par la méthode plasmolytique, que cette pression était la même dans les tiges et dans les racines de toutes les plantes qu'il a examinées, et cela quel que fût le mode de nutrition auquel ces plantes avaient été soumises; M. Maquenne ², par la méthode cryoscopique, a fait voir que cette égalité existait chez les betteraves. J'ai pu vérifier qu'il en était ainsi pour des maïs et pour des pois élevés dans des solutions nutritives.

Pour les maïs, la pression osmotique était	{ de 9 at. 2 pour les tiges.
	{ de 9 at. 3 pour les racines.
Pour les pois, —	{ de 14 at. 2 pour les tiges.
	{ de 14 at. 4 pour les racines.

Or, pression osmotique est l'équivalent de concentration moléculaire; cette quantité est donc à peu de chose près la même dans les tiges et dans les racines, même lorsque celles-ci ont de l'eau à profusion. L'évaporation d'eau par la tige tend certainement à détruire cet équilibre et à accroître cette concentration, mais dans un rapport qui est loin d'être aussi élevé que celui que nous constatons entre les concentrations en chlore. Ceci étant admis, pour expliquer cette augmentation de la teneur en chlore du liquide cellulaire il faut que les cellules de la tige possèdent réellement pour le chlorure de potassium un coefficient d'absorption supérieur à celui des cellules de la racine.

Évidemment, pour que l'équilibre osmotique persiste entre la tige et la racine il faut que celle-ci renferme d'autres substances qui, au point de vue de la pression osmotique, compensent la dif-

1. *Bot. zeitung.*, 1892, p. 253.

2. *Comptes rendus*, t. CXXI (1895), p. 834 et *Ann. agron.*, t. XXII (1896), p. 5.

férence de teneur en chlorure de potassium. Cette façon de voir est d'accord avec ce qu'a observé récemment M. van Rysselberghe¹. D'après cet auteur, une cellule peut accroître sa pression osmotique, et cela de diverses façons, principalement en faisant passer à l'état soluble des substances primitivement insolubles.

Examinons maintenant la seconde portion des tiges située au-dessus de celle que nous venons de considérer.

Sauf pour l'expérience n° 5, que nous laisserons de côté pour le moment, le liquide cellulaire de cette région est moins riche en chlore que celui de la première ; les rapports des concentrations sont :

0.75	0.73	0.96	0.76
------	------	------	------

Faut-il en déduire que les cellules de cette portion de la tige ont pour le sel un coefficient d'absorption plus petit que celui des cellules inférieures? Il me semble plus simple de regarder ce coefficient comme étant le même pour les deux régions, et de voir là un effet de la diffusion : le liquide est moins chargé en sel que le précédent parce qu'il est plus éloigné du point où arrive ce sel. C'est ce qui ressort de l'ensemble des autres nombres et de l'allure générale des courbes 1, 2, 3 et 4.

A quoi tiennent les irrégularités observées? comment expliquer les paliers que présentent ces courbes? Il faut voir là un effet de l'évaporation. Dans les expériences 1 et 4, la concentration est la même pour les deuxièmes et troisièmes portions analysées; c'est dans cette région que les feuilles s'écartent de la tige; en ces points, la transpiration est bien supérieure à ce qu'elle est dans les régions inférieures, où les feuilles sont étroitement appliquées les unes sur les autres de façon à former un cylindre régulier. La concentration tend à s'accroître par suite de ce défaut d'eau.

Pour l'expérience n° 2, cet effet est moins sensible que pour les autres, cependant la courbe s'infléchit nettement en passant de la deuxième à la troisième portion et devient horizontale de la troisième à la quatrième.

Après ces paliers, les courbes reprennent leur allure descendante, parce que les feuilles étant bien écartées l'évaporation

1. *Mém. Acad. Roy. de Belgique*, t. LVIII (1899).

varie peu d'une région à une autre, tandis que la portion considérée est de plus en plus éloignée du point d'arrivée du sel. L'expérience n° 4 présente cependant un nouveau palier correspondant au sommet de la plante.

Les irrégularités de l'expérience n° 5 sont assez grandes ; elles tiennent d'abord à ce que les poids de chlore déterminés étaient assez faibles, et que par suite les erreurs qui ont pu être commises ont pris une assez grande importance. Mais elles doivent surtout être dues à l'influence de l'évaporation ; il peut arriver en effet que là où les feuilles s'écartent de l'axe, l'augmentation de transpiration soit telle qu'elle provoque un accroissement de concentration.

En résumé, nous ferons les déductions suivantes :

Le liquide cellulaire des racines est plus riche en sel que ne l'est le liquide extérieur ; les racines ont pour le chlorure de potassium un coefficient d'absorption supérieur à l'unité.

Le liquide des tiges est plus concentré que celui des racines ; le coefficient d'absorption est plus grand pour les tiges que pour les racines.

A mesure que l'on s'éloigne de la base, la concentration diminue dans la tige, le sel se répand par diffusion (ou par les mouvements de cyclose du protoplasma, ce qui ne doit faire qu'accroître la vitesse de transport).

Nous nous sommes demandé ce qui adviendrait si l'on supprimait l'arrivée du sel, c'est-à-dire si l'on remplaçait la solution saline où baignent les racines par de l'eau pure.

Nous savons que l'extraméabilité n'existe pas ; le sel absorbé ne passera pas de la racine dans le liquide extérieur. Cherchons quels changements vont se produire dans la plante.

L'expérience n'est pas très aisée à exécuter. Il faut en effet avoir deux séries de plantes aussi identiques que possible, ayant subi un traitement semblable ; puis, lorsqu'on analyse une des séries, donner de l'eau pure aux plantes de l'autre pendant un certain temps. Or, pendant cette dernière période, ces plantes, bien qu'elles végètent dans l'eau pure, commencent à ressentir les effets du chlorure qu'elles ont absorbé à l'origine ; beaucoup de feuilles deviennent jaunes et meurent. Malgré ces irrégularités, je crois que les résultats obtenus présentent quelque intérêt.

Les cultures 3 *bis*, 4 *bis* et 5 *bis*, étaient aussi semblables que possible aux cultures 3, 4 et 5. Lorsque celles-ci furent analysées, on fournit de l'eau distillée aux cultures 3 *bis*, 4 *bis* et 5 *bis*. Puis après douze jours on détermina les proportions d'eau et de chlore dans ces plantes comme dans les précédentes.

Voici les résultats obtenus ; pour faciliter la comparaison, nous reproduisons ceux qui sont relatifs aux expériences 3, 4 et 5.

NUMÉROS	CONCENTRATION de la solution où plongent les racines. (chlore p. 100 gr.)	CHLORE dans 100 grammes d'eau des plantes.					
		Racines.	1 ^{re} por- tion (bas).	2 ^e portion.	3 ^e portion.	4 ^e portion.	5 ^e portion. (sommets).
		gr.	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
3	0 100	0 184	0 422	0 406	0 387	0 363	0 331
3 <i>bis</i> .	0 100 puis eau pure.	0 070	0 437	0 408	0 431	0 284	0 311
4	0 050	0 250	0 386	0 294	0 288	0 168	0 169
4 <i>bis</i> .	0 050 puis eau pure.	0 032	0 307	0 351	0 212	0 244	0 174
5	0 025	0 049	0 106	0 135	0 061	0 098	0 075
5 <i>bis</i> .	0 025 puis eau pure.	0 015	0 072	0 144	0 097	0 071	0 050

La teneur en chlore du liquide des racines de 3 *bis*, 4 *bis* et 5 *bis*, est beaucoup plus faible que la teneur correspondante de 3, 4 et 5. Sans affirmer qu'au moment où le sel a cessé d'être fourni la concentration était identique dans les cultures semblables, on peut cependant avancer que les différences n'étaient pas aussi considérables que nous le trouvons maintenant. Le sel a donc quitté la racine. Plusieurs causes peuvent être assignées à ce départ.

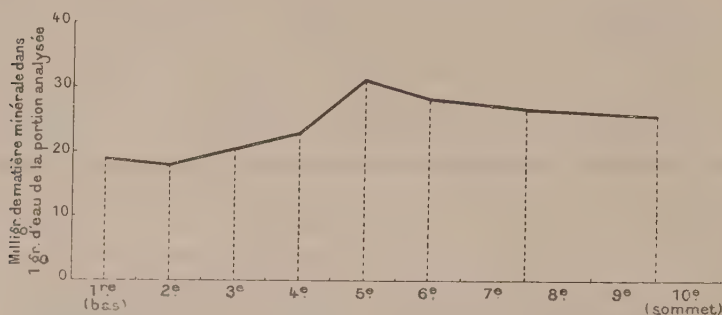
Lorsque les racines se sont trouvées plongées dans l'eau pure, leurs cellules ont dû tendre à diminuer leur pression osmotique, suivant l'observation de M. van Rysselberghe ; pour des cellules isolées, cette diminution de pression est obtenue, pour la majeure partie, par la précipitation à l'état insoluble de corps primitivement dissous. Ici le départ du sel a produit le même résultat.

Il faut ajouter que les plantes ont légèrement accru leurs dimensions pendant cette période où elles n'ont pas reçu de sel ; la concentration générale doit donc diminuer.

Examinant maintenant la concentration des premières portions des tiges, au voisinage des racines, nous trouvons que cette quantité est peu différente de ce qu'elle était dans les expériences 3, 4 et 5. En comparant ces concentrations à celles des racines, nous trouvons les rapports 6.2, 5.9 et 4.2, supérieurs à ceux trouvés pour 3, 4 et 5, et qui étaient 2.3, 1.5, 2.2. La diminution de concentration du chlorure dans la racine n'est donc pas accompagnée d'une diminution correspondante dans les tiges. Le sel quitte la racine pour se répandre dans la partie aérienne.

Dans les autres portions des feuilles, les concentrations sont assez variables par suite de l'évaporation, et ne peuvent pas être discutées avantageusement ; là où l'évaporation croît brusquement, on observe naturellement un maximum.

Comment les choses se passent-elles dans la nature pour une plante végétant normalement en pleine terre ?



Distances qui séparent le collet des portions analysées, la tige étant partagée en 10 parties d'égales longueurs.

Etant donné que les végétaux terrestres renferment peu de chlorures, et que j'avais un poids restreint de plantes à ma disposition, j'ai dosé non la proportion de chlore, mais celle des matières minérales solubles existant dans des maïs venus en pleine terre. Les plantes, qui avaient 40 à 50 centimètres de hauteur, ont été partagées en dix portions d'égale longueur. Chaque portion a été broyée, pressée dans un linge, et le jus obtenu a été filtré. Dans ce liquide on déterminait la matière minérale soluble par incinération. On ne peut pas en effet se borner à incinérer la plante elle-même, car des matières minérales existent à l'état insoluble dans les tissus, tels sont la silice, le carbonate de chaux, etc. Les

cendres obtenues par incinération du suc cellulaire n'ont pas la même composition que l'ensemble des matières minérales renfermées dans le liquide; mais on peut admettre, sans grosse erreur, qu'il y a proportionnalité entre les poids des cendres et le poids de la matière minérale primitive.

On a ainsi trouvé les nombres suivants :

PARTIES ANALYSÉES	MATIÈRES minérales solubles pour 100 gr. d'eau de la plante.
1 ^{re} portion (bas)	1.85
2 ^e —	1.82
3 ^e —	2.12
4 ^e —	2.31
5 ^e —	3.18
6 ^e —	2.84
7 ^e et 8 ^e portions ensemble.	2.66
9 ^e et 10 ^e portions ensemble (somet). .	2.57

On peut traduire les variations de concentration par la courbe ci-contre.

La courbe s'élève d'abord pour atteindre un maximum correspondant à la moitié de la hauteur de la plante, puis s'abaisse ensuite lentement. Ces changements dans la concentration s'expliquent aisément par les changements dans l'évaporation.

En effet, les première et deuxième portions sont formées de fragments cylindriques, la surface de la plante est réduite au minimum, l'évaporation est donc faible; comme 1 et 2 ont même structure, la concentration est la même dans ces deux parties.

Dans la troisième région, les feuilles commencent à s'écarter légèrement de l'axe, la transpiration croît et augmente la concentration; de même pour la quatrième portion.

Dans la cinquième les feuilles sont nettement écartées les unes des autres, et l'accroissement de transpiration résulte de l'augmentation considérable de surface; la concentration est influencée d'une façon correspondante.

A partir de ce point la surface d'évaporation ne varie plus beaucoup, elle tend plutôt à diminuer, et comme les portions considérées sont à des distances du sol de plus en plus grandes, la teneur du liquide cellulaire en matières minérales diminue graduellement.

Il semble donc que, comme pour le cas particulier du chlorure de potassium, les matières minérales se déplacent par diffusion, la concentration étant plus faible dans les régions éloignées de la racine, mais de profondes modifications sont amenées par l'évaporation.

TROISIÈME PARTIE

DU CHOIX QU'EXERCENT LES PLANTES

PARMI LES SUBSTANCES OFFERTES

Ce qui précède montre que, considérés isolément, les chlorures sont absorbés par les plantes aussi volontiers que le sont les nitrates; nous connaissons bien l'importance de l'azote nitrique; au contraire, d'après le peu que l'on sait encore aujourd'hui, des traces de chlore sont suffisantes pour remplir dans la migration de l'amidon le rôle attribué à cet élément.

En outre, nous avons vu que le métal du sel, à moins d'être toxique, n'exerce aucune influence sur l'absorption, que le sodium, parfaitement inutile, est pris comme le sont le potassium et le calcium considérés comme indispensables à la vie végétale.

Pourquoi alors rencontre-t-on dans les végétaux venus en pleine terre plus de nitrates que de chlorures, souvent plus de potasse que de chaux et pas de soude?

Lorsqu'une substance devient réellement insoluble dans les tissus, la théorie de M. Dehérain nous en explique l'accumulation. Elle nous fait comprendre aussi comment les plantes peuvent se gorger de sels de potasse: si, par exemple, les racines sont au contact d'une solution étendue de carbonate ou de bicarbonate de potasse, ce sel pénètre dans la plante, y rencontre des acides organiques et se métamorphose dans les tissus en oxalate, malate, tartrate, etc., ce qui rompt l'équilibre et permet à une nouvelle quantité de bicarbonate de potasse de pénétrer.

Mais ceci s'applique tout aussi bien à la soude et à la chaux qu'à la potasse, et cependant les végétaux ne renferment pas des quantités égales de ces bases.

De plus, nous ne voyons pas comment certains sels solubles, comme les nitrates qui persistent en nature, s'accumulent de pré-

férence à d'autres sels solubles ne subissant pas non plus de transformations dans l'organisme végétal, tels les chlorures.

Pour nous, il y a deux explications plausibles :

1° Certaines substances sont absorbées en plus forte proportion que d'autres parce qu'elles dominent dans le sol ;

2° Les plantes prennent volontiers un sel quelconque lorsqu'il se trouve *seul* ; mais si plusieurs substances se trouvent en présence, les végétaux exercent un choix parmi elles, sans que ce choix soit déterminé par l'insolubilisation réelle de la substance prise de préférence ; ce choix tient soit à des propriétés physiques des sels ou de la membrane protoplasmique, soit à des propriétés inhérentes aux cellules vivantes.

Examinons ces deux hypothèses.

1° *Influence de la composition du sol.* — Il est certain que la proportion des diverses substances renfermées dans le sol exerce une influence importante sur la composition des végétaux qu'il porte. C'est un fait bien connu que la composition des cendres d'une plante déterminée varie avec la nature du terrain sur lequel elle a vécu.

Nous avons vu que l'absorption d'un sel dépend dans une certaine mesure de la concentration de la solution. Donc, si dans le sol les racines rencontrent un liquide plus riche par exemple en nitrate qu'en chlorure, les plantes prendront plus du premier sel que du second. Effectivement, les liquides du sol contiennent généralement beaucoup moins de chlore que d'azote nitrique ; M. Schlœsing a trouvé de 6 à 46 milligr. de chlore par litre pour 4 à 150 milligr. d'azote nitrique. Il n'est donc pas étonnant que les végétaux renferment fréquemment plus de nitrates que de chlorures.

D'autres raisons viendront favoriser l'accumulation des nitrates aux dépens des chlorures. Considérons des graines germant dans un sol riche en nitrate, comme cela arrive pour le blé à l'automne ; les plantules se gorgent de ce sel. Si le développement est lent, comme c'est le cas en automne, ou si la réserve d'azote nitrique est notable, cet azote n'est pas utilisé ou l'est incomplètement, et de toutes façons les tissus sont gorgés de nitrates ou de sels organiques provenant de leur transformation ; la place est prise, et d'autres sels, comme les chlorures, s'ils viennent à dominer à un moment dans le sol, ne pénètrent qu'en minime quantité. J'ai

montré, en effet, que, lorsqu'une plante est saturée d'un nitrate d'une base déterminée, elle est incapable d'absorber un nitrate d'une autre base; or, j'ai constaté que son indifférence se manifeste aussi vis-à-vis d'un chlorure. Si plus tard le sac protoplasmique se vide, d'autres sels pourront s'y introduire.

Inversement, une culture qui ne prend plus de chlorure ne prend pas de nitrate. Si donc les conditions où se trouve le sol ne sont pas favorables à la nitrification, les racines prendront d'autres sels, ce qu'elles rencontreront. Qu'ultérieurement les nitrates viennent à être abondants, ils ne pourront pénétrer que lentement dans les plantes déjà gorgées de sels solubles et y seront rapidement réduits et assimilés. C'est ainsi que l'on rencontre parfois peu de nitrate dans des amarantes ou des bourraches, qui en renferment la plupart du temps des quantités considérables.

Si dans beaucoup de cas, la composition du sol suffit à expliquer celle des plantes, si, par exemple, les végétaux des terrains calcaires renferment une proportion de chaux infiniment plus grande que celle qu'on trouve dans les mêmes espèces vivant en terre siliceuse, il n'en est pas toujours ainsi et nous devons envisager la seconde hypothèse :

2° *Les plantes peuvent choisir parmi les corps dissous qui leur sont offerts.* Il est bien connu, en effet, que deux plantes d'espèces différentes, croissant sur le même sol, n'auront pas la même composition minérale. Du trèfle et de l'avoine végétant ensemble se chargeront le premier de chaux et la seconde de silice. Les différentes racines plongent dans le même milieu et cependant elles ne prennent pas de la même façon les matières solubles qu'elles rencontrent; elles doivent donc effectuer un choix. Les expériences de De Saussure, quoique incomplètes, nous font prévoir que cela est possible.

Je me propose de donner, dans la troisième partie de ce travail, quelques exemples qui démontrent que les végétaux exercent réellement un choix parmi les sels dissous qui sont à leur disposition.

CHAPITRE I

ABSORPTION COMPARÉE DE L'AZOTE NITRIQUE ET DU CHLORE

Comme nous l'avons déjà dit, il est intéressant de comparer l'absorption des nitrates à celle des chlorures, à cause de la différence considérable qui existe entre ces deux séries de composés au point de vue de leur utilité pour la plante.

ABSORPTION SÉPARÉE DE L'AZOTE ET DU CHLORE

Colzas. — Les expériences précédentes ne montrent pas que les végétaux aient une préférence marquée pour les nitrates : les chlorures offerts seuls sont absorbés de la même façon. Nous avons cependant mis en comparaison au même moment des cultures de colzas aussi identiques que possible ; à l'une on fournissait du nitrate de sodium, à l'autre du chlorure de sodium ; de temps en temps on ajoutait un peu de bicarbonate de chaux pour maintenir les plantes plus vigoureuses ; j'ai constaté en effet que les cultures prospèrent mieux lorsque le liquide renferme de la chaux.

Les tableaux XXVI et XXVII donnent la marche de l'absorption pour les deux cultures.

On voit qu'ils ne permettent pas de dire que les colzas prennent mieux l'azote nitrique que le chlore, ou inversement ; 33 mg. 3 de chlore ont été pris contre 33 mg. 8 d'azote nitrique.

Remarquons que, les liquides renfermant au début poids égaux d'azote et de chlore, la solution de nitrate contient plus de sodium que la solution de chlorure, et que cette différence de concentration au point de vue du métal peut amener des variations dans l'absorption. Le poids de sodium qui correspond à 33 mg. 8 d'azote nitrique est 53 mg. 5 ; tandis que 23 milligr. de sodium ont été pris en même temps que 33 mg. 3 de chlore ; le sodium associé à

TABLEAU XXVI. — Absorption du Nitrate de Sodium par des Colzas.

265 plantes. 100 c.c. de liquide contenant 20 milligr. d'azote. De temps en temps on ajoutait du bicarbonate de calcium.

	EAU évaporée.	AZOTE NITRIQUE contenu dans 50 cc. de liquide.	AZOTE qui aurait été absorbé si l'évapora- tion avait seule été en jeu.	AZOTE absorbé par les plantes	
				dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Début.		10.0			
4 ^e jour.	3	6.9	0.6	6.6	2.2
6 ^e —	5	4.0	0.7	5.9	2.9
9 ^e —	7	1.2	0.5	5.7	1.9
11 ^e —	4	0.4	0.1	4.2	0.6
Liquide enlevé; remis 100 cc. de liquide renfermant 20 milligr. d'azote nitrique.					
11 ^e —		10.0			
13 ^e —	4	8.3	0.8	4.1	2.0
14 ^e —	3	7.0	0.5	2.9	2.9
16 ^e —	7	6.5	1.0	1.8	0.9
18 ^e —	5	6.2	0.6	1.2	0.6
20 ^e —	6	6.0	0.7	1.0	0.5
23 ^e —	9	5.3	1.1	2.0	0.7
28 ^e —	19	6.0	2.0	1.4	0.3
Totaux et moyennes.	72		8.6	33.8	1.25

TABLEAU XXVII. — Absorption du Chlorure de Sodium par des Colzas.

265 plantes, 100 cc. de liquide contenant 20 milligr. de chlore. De temps en temps on ajoutait du bicarbonate de calcium.

	EAU évaporée.	CHLORE contenu dans 50 cc. de liquide.	CHLORE qui aurait été absorbé si l'évapora- tion avait seule été en jeu.	CHLORE absorbé par les plantes	
				dans l'intervalle des analyses.	en moyenne par jour.
	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Début.		10.0			
4 ^e jour.	16	9.8	3.2	3.6	1.2
6 ^e —	5	7.3	1.0	4.9	2.4
9 ^e —	4	4.0	0.6	5.5	1.8
11 ^e —	5	2.0	0.4	3.5	1.7
Liquide enlevé; remis 100 c.c. de solution renfermant 20 milligr. de chlore.					
11 ^e —		10.0			
13 ^e —	10	8.8	2.0	4.2	2.1
14 ^e —	2	8.2	0.3	1.4	1.4
16 ^e —	2	7.0	0.3	2.4	1.2
18 ^e —	5	5.7	0.7	2.8	1.4
20 ^e —	9	4.7	1.0	2.5	1.2
23 ^e —	13	3.8	1.2	2.2	0.7
28 ^e —	16	2.6	1.2	2.3	0.4
Totaux et moyennes.	87		12.9	35.3	1.3

l'azote nitrique est pris en plus forte proportion que le sodium lié au chlore.

On peut établir une autre comparaison; au lieu de considérer les poids réels d'azote et de chlore absorbés, calculons le nombre de molécules de chacun de ces éléments entré dans les plantes. En molécule-milligramme on trouve 1.2 pour l'azote et 0.5 pour le chlore.

Autant qu'il est permis de se baser sur des résultats fournis par des cultures séparées, nous concluons que, dans des liquides renfermant poids égaux de chlore et d'azote nitrique, le poids de chacun des deux éléments absorbés est le même, mais que le nombre de molécules d'azote prélevé est bien supérieur au chiffre correspondant pour le chlore.

Le tableau XXVIII donne les résultats de trois cultures faites simultanément sur un même nombre de colzas; on y trouve les poids d'azote nitrique et de chlore absorbés, et les nombres de molécules auxquels correspondent ces poids; on a inscrit de plus les poids de calcium correspondant à l'azote et au chlore.

TABEAU XXVIII. — Absorption comparée du Nitrate et du Chlorure de Calcium par des Colzas.

(175 plantes dans chaque cas.)

	SOLUTIONS DE NITRATE DE CALCIUM Azote nitrique et Calcium absorbés.						SOLUTION DE CHLORURE DE CALCIUM à 53 milligr. 2 de chlore dans 100 cc. Chlore et Calcium absorbés.		
	A. — Solution à 21 milligr. d'azote dans 100 cc.			B. — Solution à 42 milligr. d'azote dans 100 cc.					
	Azote.		Calcium.	Azote.		Calcium.	Chlore.		Calcium.
	Poids.	Molécule- milligr.		Poids.	Molécule- milligr.		Poids.	Molécule- milligr.	
	milligr.		milligr.	milligr.		milligr.	milligr.		milligr.
Du 1 ^{er} au 8 ^e jour.	9.6	0.34	13.7	12.1	0.43	17.3	11.5	0.16	6.5
Du 8 ^e au 16 ^e jour.	5.5	0.20	7.9	7.6	0.28	10.8	8.2	0.11	4.6
Absorption tot. .	15.1	0.54	21.6	19.7	0.71	28.1	19.7	0.27	11.1

La solution de nitrate A renferme 21 milligr. d'azote nitrique, c'est-à-dire 0 mol. 75; la solution de chlorure renferme 53 mg. 2

de chlore, soit aussi 0 mol. 75; les deux liquides ont même concentration moléculaire et contiennent par suite le même poids absolu de calcium. La solution de nitrate B est deux fois aussi concentrée que A; elle contient deux fois autant de calcium que n'en contient A ou la solution de chlorure.

Comparons d'abord A avec la solution de chlorure. L'absorption de chlore est supérieure à celle d'azote nitrique; ici se manifeste l'influence du poids de l'élément offert aux plantes; en tout, 15 mg. 1 d'azote ont été pris contre 19 mg. 7 de chlore. Si nous envisageons maintenant les poids de calcium absorbés, nous trouvons que lorsque le métal se trouve à l'état de nitrate il est absorbé en quantité plus forte que lorsqu'il est combiné au chlore; les premiers nombres sont sensiblement doubles des seconds, au total 24 mg. 6 et 11 mg. 1, quoique les deux liquides renferment la même quantité de métal.

Passons maintenant à un liquide plus riche en nitrate de calcium; la solution B contient 42 mg. 2 d'azote nitrique, chiffre qui se rapproche du poids de chlore du chlorure de calcium. L'absorption de l'azote a été semblable à celle du chlore; même les totaux sont identiques et égaux à 19 mg. 7. Naturellement les poids de calcium pris en même temps que l'azote sont encore plus élevés que précédemment.

Ainsi, dans le cas de solutions renfermant poids égaux de calcium, le métal est absorbé en bien plus forte proportion lorsqu'il est associé à l'azote nitrique que lorsqu'il est à l'état de chlorure. Les plantes prennent plus de chlore que d'azote, parce que le poids moléculaire du chlore est supérieur à celui de l'azote, et que, par suite, pour un même poids de calcium du liquide, les poids de chlore et d'azote sont différents; en augmentant la teneur du liquide en nitrate, l'absorption d'azote devient égale à celle du chlore.

Comparant les nombres de molécules prélevés, nous trouvons que, en solutions équimoléculaires, les plantes ont pris exactement deux fois autant de molécules d'azote que de molécules de chlore.

Nous pouvons rapprocher ces faits de ce que l'on sait sur la vitesse de passage d'un corps dissous au travers de parois perméables, vivantes et inertes. Pour les parois vivantes, la perméabilité est variable avec la nature du corps dissous: la glycérine passe assez aisément dans le suc cellulaire, l'urée passe moins

vite, enfin, le protoplasma est peu perméable au saccharose et aux sels minéraux; rappelons toutefois que ces expériences de De Vries ont été faites avec des solutions relativement concentrées et que l'on n'a pas comparé divers sels entre eux. En ce qui concerne les parois inertes, cette comparaison avait été faite par Graham; en appelant temps d'égale diffusion le temps que met un même poids de substance dissoute à parcourir le même chemin, et en prenant ce temps égal à 1 pour la potasse caustique, on trouve que les sels à acides monobasiques d'un même métal présentent des temps de diffusion égaux, 1.4 pour ceux de potassium et d'ammonium, 1.7 pour ceux de sodium. Pour les sels à acides bibasiques, la vitesse de passage est plus faible, les temps trouvés sont 2 et 2.45 pour les métaux indiqués.

Dans notre cas nous avons dit que, dans le même temps, il entrait moins de molécules de chlorure de calcium que de nitrate dans les plantes; il en est de même si l'on considère les poids absolus de calcium. Pour les poids de chacun des sels absorbés on trouve : 30 milligr. de chlorure de calcium, contre 88 mg. 5 et 116 mg. 4 de nitrate. Enfin, 37 p. 100 du chlorure ont pénétré; 72 p. 100 du nitrate de A équimoléculaire du chlorure, et 66.6 p. 100 du nitrate de B ont passé dans les plantes. De quelque façon que l'on définisse la vitesse de passage, on trouve des différences; elles sont toujours en faveur du nitrate. Nous avons cependant fait remarquer que dans des solutions équimoléculaires le poids de chlore prélevé est supérieur à celui de l'azote nitrique.

Nous avons cherché à résoudre la question par une méthode qui est théoriquement la plus simple, mais la réponse obtenue est d'autant moins catégorique qu'il est difficile d'avoir deux cultures rigoureusement comparables. Nous sommes alors conduits à envisager un cas plus complexe : nous mettrons les plantes en présence d'un mélange de nitrate et de chlorure d'un même métal et nous chercherons les absorptions d'azote et de chlore. En n'introduisant qu'un métal unique nous n'aurons pas de double décomposition.

ABSORPTION SIMULTANÉE DE L'AZOTE NITRIQUE ET DU CHLORE

Culture du sarrasin dans un mélange de nitrate et de chlorure de potassium (tableau XXIX). — Le liquide renfermait une molécule et demie, en milligrammes, de chaque sel pour 100 c.c., c'est-à-dire 21 milligr. d'azote nitrique et 53 mg. 2 de chlore; de cette façon, le poids de potassium à l'état de nitrate était le même que celui existant à l'état de chlorure. L'analyse du liquide restant a été faite après cinq jours. On voit que, tandis que la teneur du liquide (50 c.c.) en azote est tombée de 10 mg. 5 à 9 milligr., la richesse en chlore s'est accrue, passant de 26 mg. 6 à 31 mg. 2; 6 mg. 5 d'azote ont été pris, contre seulement 2 mg. 7 de chlore. Le rapport de l'absorption vraie à l'absorption qui correspondrait à l'évaporation est 1.6 pour le nitrate et 0.3 pour le chlorure¹. Il y a donc une préférence bien nette des plantes pour le nitrate.

TABLEAU XXIX. — Absorption simultanée du Nitrate et du Chlorure de Potassium par des Sarrasins.

145 plantes. — 100 c.c. de solution renfermant 21 milligr. d'azote et 53 milligr. 2 de chlore.]

	EAU évapo- rée.	CONCENTRATION		ABSORPTION correspondant à l'évaporation.		ABSORPTION vraie.		RAPPORT de l'absorption vraie à l'absorption calculée.	
		Azote dans 50 cc.	Chlore dans 50 cc.	Azote.	Chlore.	Azote absorbé.	Chlore absorbé.	Azote.	Chlore.
		gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.		
Début		10.5	26.6						
6 ^e jour.	19	9.0	31.2	4.0	10.1	6.5	2.7	1.6	0.3
								Azote.	Chlore.
Poids d'azote et de chlore absorbés.								6mg5	2mg7
Azote et chlore absorbés pour 100 introduits.								30.9	5.0
Potassium correspondant à l'azote et au chlore absorbés . .								18mg1	2mg9
Rapport du potassium du nitrate absorbé au potassium du								6.1	
chlorure absorbé ou rapport $\frac{\text{Az } \text{o}/\text{o}}{\text{Cl } \text{o}/\text{o}}$									

1. Si ces rapports ne sont pas exacts en valeur absolue, il est permis de les comparer puisqu'ils sont relatifs à une même expérience.

On peut mettre ces résultats sous une autre forme qui tient compte des proportions d'azote et de chlore présentes au début. Dans la deuxième partie du tableau XXIX, on trouve, dans la colonne intitulée « Azote », le poids d'azote absorbé, la proportion d'azote absorbée pour 100 présentés aux plantes, le poids de potassium correspondant à l'azote absorbé; dans la colonne « Chlore » sont inscrits les nombres semblables relatifs au chlore. Enfin, on a divisé le poids de potassium correspondant à l'azote nitrique absorbé par le poids de potassium correspondant au chlore absorbé, ce qui donne, si l'on peut s'exprimer ainsi, le rapport des affinités de la plante pour l'azote nitrique et pour le chlore; c'est le rapport entre les nombres de molécules d'azote et de chlore. Ce nombre est le même que celui que l'on obtient en divisant l'azote absorbé pour 100 introduits, par le chlore absorbé pour 100 introduits, C'est donc bien le chiffre qui nous intéresse le plus. Dans le cas actuel, il est égal à 6.1, ce qui signifie que pour 1 de potassium pris à l'état de chlorure, 6 sont absorbés sous forme de nitrate; 6 molécules de nitrate sont prises en même temps qu'une seule de chlorure.

Nous voyons ici très nettement les plantes exercer un choix entre le nitrate et le chlorure de potassium.

Les deux expériences qui suivent montrent que les choses se passent de la même façon lorsqu'on remplace le potassium par du calcium.

Culture de colza dans un mélange de nitrate et de chlorure de calcium.

Le tableau XXX est relatif à l'absorption simultanée de l'azote nitrique et du chlore unis au calcium.

La solution était analogue à la précédente, renfermant une molécule et demie, en milligrammes, de chaque sel pour 100 c.c. Deux analyses ont été faites, une le 8^e jour et une le 16^e jour. La teneur en azote de 50 c.c. a baissé de 10 mg. 5 à 2 mg. 2; la teneur en chlore n'a pas varié, elle est de 26 mg. 6 au lieu de 27 mg. 0. Pendant les sept premiers jours, 10 mg. 9 d'azote ont été absorbés, soit 52 p. 100 de la quantité en présence; en même temps, l'absorption de chlore a été de 4 mg. 6, c'est-à-dire seulement 8.7 p. 100 du chlore en solution; le quotient de l'azote absorbé pour 100 par le chlore absorbé pour 100 est donc égal à 6.0.

Dans la seconde période, du 8^e au 16^e jour, on trouve 6 mg. 8 d'azote nitrique absorbés, soit 67.3 p. 100 de l'azote existant en solution le 8^e jour. Le poids du chlore pris par les plantes est un peu plus fort, 7 mg. 6, mais ne représente que 15.6 p. 100 de ce que renfermait le liquide. De sorte que le

rapport $\frac{\text{Az p. 100}}{\text{Cl p. 100}}$ est encore très élevé et égal à 4.3. Mais ici ce nombre n'est plus identique à celui que l'on obtient en divisant le poids du calcium absorbé à l'état de nitrate par celui absorbé à l'état de chlorure; on trouve 2.3 pour le rapport des nombres de molécules prélevés. Cela tient à ce que l'état initial de la solution n'est plus le même que précédemment et que, contrairement à ce qui existait alors, les solutions ne sont plus équimoléculaires, les poids de calcium à l'état de nitrate et à l'état de chlorure ne sont plus égaux, puisque le liquide a perdu plus d'azote que de chlore pendant la première période.

TABLEAU XXX. — Absorption simultanée du Nitrate et du Chlorure de Calcium par des Colzas.

175 plantes. — 100 c. c. de solution renfermant 21 milligr. d'azote et 53 milligr. 2 de chlore.

	EAU évapo- rée.	CONCENTRATION		ABSORPTION calculée correspondant à l'évaporation.		ABSORPTION vraie.		RAPPORT de l'absorption vraie à l'absorption calculée.	
		Azote dans 50 c. c.	Chlore dans 50 c. c.	Azote.	Chlore.	Azote absorbé.	Chlore absorbé.	Azote.	Chlore.
		milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.		
Début	gr.	10.5	26.6						
8 ^e jour	10	5.6	27.0	2.1	5.3	10.9	4.6	5.2	0.9
16 ^e jour	14	2.2	27.0	1.5	7.6	6.8	7.6	4.5	1.0
Totaux et moyen.	24			3.6	12.9	17.7	12.2	4.9	0.9

	Du 1 ^{er} au 8 ^e jour.		Du 8 ^e au 16 ^e jour.		TOTAL du 1 ^{er} au 16 ^e jour.	
	Azote.	Chlore.	Azote.	Chlore.	Azote.	Chlore.
Poids d'azote et de chlore absorbés .	10mg9	4mg6	6mg8	7mg6	17mg7	12mg2
Azote et chlore absorbés pour 100 in- troducts.	52.0	8.7	67.3	15.6	84.3	23.0
Calcium correspondant à l'azote et au chlore absorbés.	15mg6	2mg6	9mg7	4mg3	25mg3	6mg9
Rapport du calcium du nitrate absorbé au calcium du chlorure absorbé . .	6.0		2.3		3.7	
Rapport $\frac{\text{Az } \frac{o}{o}}{\text{Cl } \frac{o}{o}}$ du pourcentage d'azote absorbé au pourcentage de chlore absorbé.	6.0		4.3		3.7	

Si nous considérons l'ensemble, nous voyons que 17 mg. 7 d'azote et 12 mg. 2 de chlore ont été absorbés; ces chiffres représentent 84.3 et 23.0 p. 100 des quantités en solution au début. Les deux rapports dont il a été question sont identiques puisque l'on part de poids égaux de calcium à l'état de nitrate et à l'état de chlorure; leur valeur est 3.7.

Ainsi, pareillement à ce qui s'est passé pour l'expérience XXIX, les colzas ont opéré un choix entre le nitrate et le chlorure de calcium qu'ils avaient à leur disposition.

Culture de seigle dans un mélange de nitrate et de chlorure de calcium.

Dans la première partie du tableau XXXI on peut voir que la teneur du liquide en azote (pour 50 c. c.) diminue graduellement pour devenir nulle le 16^e jour; en remplaçant la solution par un liquide neuf on constate encore un appauvrissement notable; après onze jours, 50 c. c. ne tiennent plus que 3 mg. 8 d'azote. D'autre part, la teneur en chlore varie peu; elle s'accroît même sensiblement du 16^e au 27^e jour puisqu'elle passe de 26 mg. 6 à 29 mg. 6.

Pour les deux premières observations, l'absorption d'azote est bien supérieure à l'absorption de chlore, 4 mg. 7 et 14 mg. 6 contre 2 mg. 8 et 6 mg. 9. Mais du 8^e au 16^e jour, le poids de chlorure prélevé est de 8 milligr., tandis que 1 mg. 7 seulement d'azote ont été pris; cela tient à ce que, au début de cette période, la solution est encore riche en chlore mais ne contient plus que 1 milligr. d'azote nitrique. Pour une solution neuve, l'azote absorbé, 14 mg. 8, dépasse de nouveau l'absorption de chlore, 4 mg. 7.

Le rapport de l'absorption vraie à l'absorption correspondant à l'évaporation est toujours bien supérieur à l'unité en ce qui concerne l'azote, tandis qu'il s'éloigne peu de 1 pour le chlore.

L'absorption d'azote pour 100 existant en solution est d'abord de 22.4, puis de 89.5, puis de 100, au total de 100 puisqu'il n'en reste plus en solution; pour la seconde période, du 16^e au 27^e jour, on trouve 70.5 p. 100. Les chiffres correspondants pour le chlore sont 5.3, 13.6, 18.4; un tiers, 33.3 p. 100, du chlore est pris pendant les seize premiers jours; la seconde période donne 8.8 p. 100. Du 1^{er} au 3^e jour, 4.2 de calcium sont pris à l'état de nitrate pour 1 d'absorbé sous forme de chlorure; du 3^e au 8^e jour, le rapport est un peu plus élevé, 5.2. Mais pendant les huit jours suivants les plantes prennent deux fois autant de calcium à l'état de chlorure qu'elles n'en prennent à l'état de nitrate parce qu'il n'y a plus que très peu de nitrate de calcium dans le liquide. La moyenne du rapport est 3.0 pour cette première période; pour la dernière, on trouve 8.0.

Le rapport de l'azote absorbé pour 100 offerts au chlore absorbé pour 100 offerts ne diffère du rapport précédent que lorsque la solution ne contient pas autant de calcium à l'état de nitrate qu'à l'état de chlorure, ce qui arrive du 3^e au 8^e jour et du 8^e au 16^e jour. Comme il est constamment supérieur à 1, nous en concluons que l'azote nitrique est toujours pris de préférence au chlore.

Nous voyons même que l'absorption totale d'azote surpasse l'absorption totale de chlore, 35 mg. 8 du premier élément pour 23 mg. 4 du second,

TABLEAU XXXI. — Absorption simultanée du Nitrate et du Chlorure de Calcium par du Seigle.

143 plantes. — 100 c. c. de solution renfermant 21 milligr. d'azote et 53 milligr. 2 de chlore.

	EAU évaporée.	CONCENTRATION dans 50 c. c.		ABSORPTION calculée, correspondant à l'évaporation.		ABSORPTION VRAIE		RAPPORT de l'absorption vraie à l'absorption calculée.	
		Azote	Chlore	Azote.	Chlore.	Azote absorbé.	Chlore absorbé.	Azote.	Chlore.
Début.	gr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.		
3 ^e jour.	3	10.5	26.6	0.6	4.6	4.7	2.8	7.8	4.7
8 ^e —	14	8.4	26.0	2.3	7.3	4.6	6.9	6.3	0.9
16 ^e —	40	4.0	26.2	0.2	5.2	1.7	8.0	8.5	4.5
On enlève le liquide restant et on remet 100 cc. de solution renfermant 21 milligr. d'azote et 53 milligr. de chlore.									
16 ^e —		10.5	26.6	3.8	9.5	14.8	4.7	3.9	0.5
27 ^e —	48	3.8	29.6	6.9	23.6	35.8	22.4	5.2	0.9
Totaux et moyennes.	45								

	1 ^{re} SOLUTION : 100 cc. { Az. 21 milligr. 2. Cl. 53 milligr. 2.										2 ^e SOLUTION	
	du 1 ^{er} au 3 ^e jour.					du 3 ^e au 8 ^e jour.					100 cc. { Az. 21 milligr. 2. Cl. 53.2	
	Azote.	Chlore.	Azote.	Chlore.	Total	Azote.	Chlore.	Azote.	Chlore.	Azote.	Chlore.	du 1 ^{er} au 16 ^e jour.
Poids d'azote et de chlore absorbés.	4mg7	2mg8	4mg6	6mg9	1mg7	8mg0	21mg0	17mg7	4mg8	4mg7	4mg8	du 16 ^e au 27 ^e jour.
Azote et chlore absorbés pour 100 introduits.	22.4	5.3	89.5	13.6	130.0	18.4	400.0	333.3	70.5	8.8	2mg6	
Calcium correspondant à l'azote et au chlore absorbés	6mg7	4mg6	20mg9	3mg9	2mg4	4mg5	30mg0	10mg0	21mg1	2mg6	8.0	
Rapport du calcium du nitrate absorbé au calcium du chlore absorbé.	4.2		5.4		0.5		3.0					
Rapport Az % du pourcentage d'azote absorbé au pourcentage Cl % de chlore absorbé	4.2		6.6		5.4		3.0					

quoique la solution qui baigne les racines fût environ deux fois et demie aussi riche en chlore qu'en azote nitrique.

En résumé, les expériences qui viennent d'être détaillées nous permettent de formuler les conclusions suivantes relatives à l'absorption simultanée du chlore et de l'azote nitrique unis à un même métal :

1° La solution s'appauvrit beaucoup plus rapidement en azote qu'en chlore ;

2° L'absorption d'azote surpasse l'absorption de chlore, même lorsque le poids du chlore en solution est plus fort que celui de l'azote nitrique ;

3° Les plantes prennent beaucoup plus de métal, potassium ou calcium, sous forme de nitrate que sous forme de chlorure, lorsque des poids égaux de métal sont unis à l'azote et au chlore ;

4° La fraction d'azote nitrique prise pour 100 existant dans la solution est supérieure à la fraction correspondante de chlore absorbée ; ce rapport, qui est celui des nombres de molécules prélevés, est variable mais peut atteindre 6 et 8 unités.

L'existence d'une telle préférence nous explique pourquoi, à certaines époques de leur vie, les plantes peuvent être incomparablement plus riches en nitrates qu'en chlorures.

CHAPITRE II

ABSORPTION COMPARÉE DES MÉTAUX

Nous avons déjà insisté sur ce point que les plantes prennent indifféremment du potassium, du sodium, du calcium, du magnésium, lorsque la solution ne renferme qu'un seul de ces métaux. Il est donc probable que les nitrates de métaux différents traversent la membrane protoplasmique avec la même facilité. D'après Graham, le nitrate de potassium se diffuse un peu plus vite que le nitrate de sodium ; les temps d'égale diffusion sont entre eux comme 1.4 et 1.7. Mais la différence de vitesse est trop faible pour expliquer la disproportion que l'on observe généralement entre les quantités de potassium et de sodium contenues dans les plantes. Cherchons comment les choses se passent lorsque plusieurs métaux se trouvent en présence des racines.

Les métaux devront être unis au même radical acide pour éviter les doubles décompositions et pour que la nature du radical n'influe pas sur l'absorption. Il était tout indiqué de se servir de solutions de nitrates, car ces composés sont absorbés très aisément et la présence dans les plantes de grandes quantités d'azote nitrique n'est aucunement nuisible.

Pour rendre les conditions aussi simples que possible, on opérerait avec des solutions ne renfermant que deux métaux. Les poids de sels introduits étaient proportionnels à leurs équivalents, de façon qu'il y eût la même quantité d'azote nitrique unie à chaque métal.

Les solutions employées dans cette série de recherches étaient sensiblement plus concentrées que celles qui nous avaient servi précédemment ; elles contenaient deux, trois ou quatre fois autant d'azote nitrique. En effet, pour doser du potassium, du sodium, du calcium, il faut opérer sur des poids de matière supérieurs à ceux qui suffisent pour la détermination de l'azote nitrique ou du chlore.

D'autre part, il ne faut pas s'adresser à des liquides trop concentrés; dans ce cas on n'observerait que de faibles différences relatives.

La solution des sels purs était d'abord analysée, et on vérifiait si les nombres obtenus se rapprochaient de ceux indiqués par la théorie; 100 ou 150 c.c. de liquide étaient alors mis en contact avec les racines des plantes. La durée de l'expérience ne doit pas être trop longue; si l'un des métaux est pris de préférence à l'autre, la solution changera nettement de composition, c'est ce qu'indiquera une analyse faite après peu de temps; mais si on laisse les choses en l'état, la solution deviendra de plus en plus pauvre en métal préféré et les plantes se saisiront alors de l'autre métal; par suite, les différences s'atténueront. Il faut donc faire l'analyse après peu de jours, mais cependant attendre assez longtemps pour qu'un changement sensible se soit produit dans la composition du liquide.

Lorsque l'on décidait de mettre fin à l'expérience, on pesait le vase de culture, de façon à connaître l'évaporation; puis on procédait à l'analyse; nous donnons dans chaque cas la méthode employée. On dosait non seulement les métaux restant en solution, mais aussi l'azote nitrique qui avait persisté; ce qui donne une vérification. En effet, puisque, comme je l'ai montré, les nitrates sont absorbés sans modification par les végétaux, le poids d'azote nitrique trouvé dans le liquide doit être égal à celui qui correspond aux poids des métaux trouvés aussi par l'analyse. Des poids d'azote et de métaux introduits au début on retranche les quantités retrouvées dans le liquide restant et on a ainsi ce que nous cherchons, les poids de substance absorbés. Si l'analyse a été bien faite, l'azote nitrique déterminé directement doit être égal à l'azote nitrique correspondant aux métaux absorbés et calculé d'après les équivalents.

On verra que les nombres sont peu différents; s'ils ne sont pas identiques, cela tient d'abord à des erreurs d'analyse; les dosages ont été faits sur des poids de matière d'autant plus faibles qu'une partie de la solution servait à la détermination de l'azote nitrique et une autre à la détermination des métaux. De plus, il est certain que le verre qui sert de support aux plantes cède un peu de sodium et de calcium au liquide, de sorte que le liquide final renferme plus de ces métaux qu'il ne devrait en

contenir et que l'azote nitrique qui leur correspond est supérieur à l'azote nitrique trouvé; pour les quantités absorbées, c'est l'inverse. Quoi qu'il en soit, les différences sont assez faibles pour que l'on considère les nombres comme très satisfaisants.

Dans les tableaux qui se rapportent à ces expériences, nous avons indiqué : 1° le poids de chaque métal absorbé; 2° cette même quantité rapportée à 100 de métal introduits au début dans la solution d'après le chiffre donné par l'analyse, et non d'après le chiffre théorique; 3° le poids d'azote correspondant au poids de métal absorbé et la somme pour les deux métaux; 4° le poids d'azote absorbé, déterminé par l'analyse de la solution et qui doit être égal à la somme précédente; 5°, le rapport des poids d'azote correspondant aux poids des deux métaux absorbés; ce rapport est le même que celui des poids des deux métaux absorbés pour 100 introduits; c'est ce nombre qui représente le rapport de sélection entre les deux métaux considérés. C'est le rapport des nombres d'*équivalents* absorbés, et non de molécules; pour deux métaux de même atomicité le quotient est le même; pour des atomicités 1 et 2 le rapport des nombres des molécules sera moitié de celui des nombres d'*équivalents*.

ABSORPTION SIMULTANÉE DU POTASSIUM ET DU CALCIUM A L'ÉTAT DE NITRATES

On a opéré avec du colza, du blé, du seigle, des pois et des lentilles.

L'analyse était conduite de la façon suivante. Dans une portion du liquide on dosait l'azote nitrique comme d'ordinaire; dans l'autre portion, on déterminait le potassium et le calcium. On précipitait le calcium en liqueur acétique par de l'oxalate d'ammoniaque; le précipité était recueilli, lavé, séché et calciné; on ajoutait quelques gouttes de carbonate d'ammoniaque pour être certain de ne pas avoir de chaux caustique, on chauffait de nouveau légèrement et on pesait le carbonate de chaux ainsi obtenu. Le liquide, débarrassé de calcium, était évaporé à sec au bain-marie dans une capsule de platine; le résidu était porté au rouge pour chasser les composés ammoniacaux et transformer les oxalates en carbonates¹; ceux-ci, à leur

1. En présence d'oxalates, les nitrates sont détruits, de sorte que la transformation en chlorures peut se faire dans la capsule de platine.

tour, étaient changés en chlorures par l'addition de quelques gouttes d'acide chlorhydrique.

De nouveau on évaporait à sec et on calcinaït légèrement, pour ne pas volatiliser le chlorure. Le résidu était pesé comme chlorure de potassium. Comme vérification, on le transformait tantôt en sulfate, tantôt en chloroplatinate; les nombres ont toujours été concordants, et pour les solutions fournies aux plantes se rapprochaient des nombres théoriques.

Ainsi, le liquide employé dans l'observation n° 1 de l'expérience XXXVI a fourni 42 mg. 1 de potassium et 20 mg. 6 de calcium; la théorie indiquait 41.8 et 21.4.

Culture de blé. — Tableau XXXII. 57 mg. 4 de potassium ont été pris en même temps que 12 mg. 9 de calcium, soit 68.3 p. 100 du potassium introduit et 30.7 p. 100 de calcium du début. Le rapport de ces deux pourcentages est de 2.3. La préférence pour le potassium est bien manifeste. Les nombres de molécules prélevés sont entre eux comme 1.15 et 1.

TABLEAU XXXII. — Absorption simultanée du Potassium et du Calcium, à l'état de Nitrates, par une culture de Blé.

Durée : 4 jours.		milligr.
100 cc. de liquide renfermant :	{ Az. . . .	60.0
	{ K. . . .	84.4
	{ Ca. . . .	42.0
		POTASSIUM CALCIUM
Poids de métal absorbé.	57mg4	12mg9
Métal absorbé pour 100 introduits.	68.3	30.7
Azote correspondant au métal absorbé.	20mg6	9mg0
		~~~~~
Azote absorbé, calculé. . . . .	29mg9	
Azote absorbé, trouvé. . . . .	27mg7	
Rapport de l'azote du potassium absorbé à		
l'azote du calcium absorbé, ou rapport $\frac{K}{Ca} \frac{\%}{\%}$	2.3	

*Culture de seigle.* — Tableau XXXIII. Deux observations consécutives sont relatives au seigle. Dans les deux cas, les plantes ont pris plus de potassium que de calcium; mais la différence est surtout marquée dans la seconde période, pour laquelle le rapport des absorptions centésimales de potassium et de calcium atteint 3.7, tandis qu'il n'est que de 1.2 dans le premier cas. Cela est dû à ce que la première observation a duré sept jours, après lesquels

95 p. 100 de potassium avaient été absorbés; depuis quelque temps déjà le liquide devait être très pauvre en calcium, et l'absorption de calcium a eu lieu en proportion notable et a été de 77.4 p. 100; au contraire, la seconde analyse a été faite après quatre jours, temps suffisant pour que le seigle ait pris 91.7 p. 100 du potassium en présence, mais trop court pour que le calcium ait été absorbé en aussi grande quantité que précédemment, 27 p. 100 seulement ont été prélevés.

TABLEAU XXXIII. — Absorption simultanée du Potassium et du Calcium, à l'état de Nitrates, par une culture de Seigle.

100 cc. de liquide dans chaque cas, renfermant :	milligr.		
	Az. . . .	K. . . .	Ca. . . .
	60	84	42
OBSERVATION N° 1		OBSERVATION N° 2	
Durée : 7 jours.		Durée : 4 jours.	
Potassium.	Calcium.	Potassium.	Calcium.
Poids de métal absorbé. . .	79mg9	32mg5	77mg0
Métal absorbé pour 100 in-			40mg6
troducts . . . . .	95.1	77.4	91.7
Azote correspondant au mé-			27.1
tal absorbé. . . . .	28mg7	22mg7	27mg6
			7mg4
Azote absorbé, calculé . . .	31mg4		35mg0
Azote absorbé, trouvé. . . .	32mg5		37mg1
Rapport de l'azote du po-			
tassium absorbé à l'azote			
du calcium absorbé, ou			
rapport $\frac{K}{Ca}$ . . . . .	1.2		3.7

Toutes les autres plantes que nous avons essayées se sont comportées comme le blé et le seigle.

*Culture de lentilles.* — Tableau XXXIV. Comme précédemment, le poids de potassium absorbé surpasse de beaucoup le poids de calcium; 57 mg. 6 du premier métal et 16 mg. 1 du second ont été prélevés; les proportions pour 100 de métal introduits sont 45.7 et 23.5, ce qui donne 1.8 pour le rapport  $\frac{K \text{ p. } 100}{Ca \text{ p. } 100}$ .

TABLEAU XXXIV. — Absorption simultanée du Potassium et du Calcium, à l'état de Nitrates, par une culture de Lentilles.

Durée : 4 jours.		
		milligr.
150 cc. de liquide renfermant :	Az. . . .	90.0
	K. . . .	125.8
	Ca. . . .	63.2
		POTASSIUM      CALCIUM
		—                      —
		milligr.            milligr.
Poids de métal absorbé. . . . .	57mg6	16mg1
Métal absorbé pour 100 introduits . . . . .	45.7	25.5
Azote correspondant au métal absorbé. . . . .	20mg7	11mg3
		—                      —
Azote absorbé, calculé. . . . .	32mg0	
Azote absorbé, trouvé. . . . .	28mg5	
Rapport de l'azote du potassium absorbé à		
l'azote du calcium absorbé, ou $\frac{K \text{ } \circ/\circ}{Ca \text{ } \circ/\circ}$ . . .	1.8	

*Culture de pois.* — Tableau XXXV. 108 mg. de potassium, soit 86 p. 100 ont été pris ; l'absorption de calcium n'a été que de 12 mg. 1, soit 19.1 p. 100. On trouve donc 4.6 pour le rapport des absorptions centésimales des deux métaux. Le calcium est évidemment saisi moins rapidement que le potassium.

TABLEAU XXXV. — Absorption simultanée du Potassium et du Calcium, à l'état de Nitrates, par une culture de Pois.

Durée : 7 jours.		
		milligr.
150 cc. de liquide renfermant :	Az. . . .	90.0
	K. . . .	125.8
	Ca. . . .	63.2
		POTASSIUM      CALCIUM
		—                      —
		milligr.            milligr.
Poids de métal absorbé. . . . .	108mg0	12mg1
Métal absorbé pour 100 introduits . . . . .	86.0	19.1
Azote correspondant au métal absorbé. . . . .	38mg8	8mg5
		—                      —
Azote absorbé, calculé . . . . .	47mg3	
Azote absorbé, trouvé. . . . .	46mg2	
Rapport de l'azote du potassium absorbé à l'a-		
zote du calcium absorbé, ou rapport $\frac{K \text{ } \circ/\circ}{Ca \text{ } \circ/\circ}$	4.6	

*Culture de colza.* — Tableau XXXVI. Quatre observations ont été faites avec cette culture ; les trois premières étaient consécutives, mais après la troi-

sième les plantes ont été maintenues onze jours dans de l'eau distillée, de façon qu'elles utilisassent une partie des nitrates absorbés.

**TABLEAU XXXVI. — Absorption simultanée du Potassium et du Calcium, à l'état de Nitrates, par une culture de Colzas.**

	OBSERVATION N° 1 Durée : 2 jours.		OBSERVATION N° 2 Durée : 6 jours.		OBSERVATION N° 3 Durée : 7 jours.		OBSERVATION N° 4 Durée : 7 jours.	
	150 cc. de liquide ren-fermant :	milligr. Az. 30 K.. 42.4 Ca. 20.6	100 cc. de liquide ren-fermant :	milligr. Az. 80. K.. 111.8 Ca. 56.2	100 cc. de liquide ren-fermant :	milligr. Az. 90 K.. 125.8 Ca. 63.2	150 cc. de liquide ren-fermant :	milligr. Az. 90 K.. 125.8 Ca. 63.2
	Potassium.	Calcium.	Potassium.	Calcium.	Potassium.	Calcium.	Potassium.	Calcium.
Poids de métal absorbé.	38mg7	12mg1	73mg3	22mg2	42mg3	19mg1	20mg0	7mg7
Métal absorbé pour 100 introduits.	91.9	58.7	63.5	39.5	33.7	30.2	15.9	9.2
Azote correspondant au métal absorbé	13mg9	8mg3	26mg3	15mg4	15mg4	13mg5	7mg1	4mg1
Azote absorbé, calculé.	2mg24		4mg17		28mg9		11mg2	
Azote absorbé, trouvé.	2mg31		4mg21		28mg5		11mg9	
Rapport de l'azote du potassium absorbé à l'azote du calcium absorbé ; ou rapport K % / Ca %	1.6		1.7		1.1		1.7	
Entre la 3 ^e et la 4 ^e observation, les plantes ont séjourné 11 jours dans de l'eau distillée.								

Sans discuter les chiffres un à un, ce qui serait fastidieux, disons que les poids de potassium absorbés sont toujours bien supérieurs aux poids correspondants de calcium ; ainsi, nous trouvons 38 mg. 7, 73 mg. 3, 42 mg. 3 et 20 mg. 0 pour le potassium, et seulement 12 mg. 1, 22 mg. 2, 19 mg. 1 et 7 mg. 7 pour le calcium. Mais le poids de calcium en solution n'est que la moitié du poids du potassium, de sorte que l'absorption de ce dernier métal est favorisée par sa plus grande abondance. Calculons donc ce qui est absorbé pour 100 de métal introduits ; ici encore l'avantage reste au potassium et, en faisant le rapport du potassium absorbé pour 100 introduits au calcium absorbé pour 100 introduits, on obtient des nombres plus grands que l'unité : 1.6, 1.7, 1.1 et 1.7.

Ces faits démontrent que si le calcium considéré isolément est aussi aisément absorbé que le potassium, il n'en est plus de même lorsque les deux métaux se trouvent ensemble ; dans ce cas la préférence des plantes se manifeste pour le potassium sans que tou-

tefois le calcium soit laissé de côté. Ainsi peut se concevoir la richesse souvent plus considérable des plantes en potasse qu'en chaux, quoique la composition du sol ne s'accorde pas avec celle des plantes. Il est d'ailleurs évident que l'influence de la composition du sol pourra dans certains cas être prépondérante.

#### ABSORPTION SIMULTANÉE DU SODIUM ET DU CALCIUM A L'ÉTAT DE NITRATES

Nous n'insisterons pas sur ces expériences, qui ont été conduites absolument comme les précédentes et nous nous contenterons d'en donner seulement les résultats.

*Culture de colzas.* — Cinq observations ont été faites sur la même culture; pour chacune d'elles on employait une solution neuve, mais la concentration était variable, le sodium et le calcium étant toujours en proportion équivalente.

Sauf pour l'observation n° 5, l'absorption du sodium dépasse celle du calcium, mais les différences ne sont pas très fortes; ainsi, nous trouvons :

	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.	milligr.
Pour le sodium. . . . .	44.4	15.1	31.5	9.8	11.5
Et pour le calcium. . . . .	9.9	7.8	25.2	8.0	12.4

Les différences s'atténuent encore si nous comparons les absorptions pour 100 de métal introduits :

Sodium . . . . .	84.7	88.8	47.4	13.1	15.4
Calcium . . . . .	60.8	53.7	44.0	12.4	19.2

ce qui conduit aux rapports suivants :

Sodium absorbé p. 100.	4.3	4.7	4.8	4.5	0.8
Calcium absorbé p. 100.					

Ces nombres sont inférieurs à ceux que nous avons obtenus pour le potassium et le calcium dans l'expérience XXXVI, qui nous a donné les rapports 1.6, 1.7, 1.1 et 1.7, soit 1.5 en moyenne, tandis que la moyenne pour le sodium et le calcium n'est que de 1.1.

Dans l'expérience actuelle il arrive même à la fin que le calcium est pris en plus forte proportion que le sodium.

La préférence des colzas pour le sodium en présence de calcium

n'est donc pas très marquée, moins que ne l'est celle pour le potassium dans les mêmes conditions.

*Culture de maïs.* — Le poids de calcium absorbé, 45 mg. 9, a dépassé légèrement le poids de sodium prélevé en même temps, 43 mg. 4. Pour 100 de calcium en solution, 71.1 ont été pris; la proportion centésimale n'est que de 58.2 pour le sodium; le rapport de ces deux nombres n'est alors que de 0.8. Dans ce cas, c'est le calcium qui est pris de préférence au sodium.

Comme conclusion, nous dirons que le sodium et le calcium sont absorbés en proportions sensiblement égales, la préférence étant tantôt pour l'un, tantôt pour l'autre.

#### ABSORPTION SIMULTANÉE DU POTASSIUM ET DU SODIUM A L'ÉTAT DE NITRATES

Les plantes qui ont du calcium à leur disposition prennent volontiers du sodium; nous ne nous expliquons pas encore l'absence de sodium chez les plantes terrestres. Par suite, une dernière expérience était indispensable à faire: il fallait étudier l'absorption simultanée du potassium et du sodium.

L'analyse du liquide s'effectuait de la façon suivante: on commençait par additionner le liquide, porté à l'ébullition, d'un peu d'oxalate d'ammoniaque, pour précipiter la chaux si le verre en avait cédé à la solution; on n'a jamais obtenu d'ailleurs autre chose qu'un louche peu sensible. On évaporait à sec, et on calcinait légèrement le résidu que l'on transformait en chlorures; le potassium était séparé à l'état de chloroplatinate, ce sel était dissous dans l'eau chaude et réduit par du magnésium en ruban; on pesait le platine précipité. Le liquide alcoolique séparé du chloroplatinate de potassium renferme le sodium avec un excès de platine; on le porte au bain-marie et on y fait passer un courant prolongé d'hydrogène qui précipite le platine. La solution filtrée est évaporée à sec; le chlorure de sodium restant est calciné légèrement et pesé; on le transforme en sulfate et on pèse de nouveau.

On a trouvé ainsi:

111 mg. 8 de potassium au lieu de 111.4 et 67 mg. 4 de sodium au lieu de 65 mg. 7.

*Culture de colzas.* — Tableau XXXVII. D'après l'analyse, la solution contient à la fin de l'expérience 3 mg. 8 de sodium de plus qu'on en a introduit; ce chiffre est de l'ordre des erreurs possibles; il signifie que les plantes n'ont pas pris du tout de sodium, absorbant uniquement du potassium.

C'est là un fait extrêmement important. Si le sodium offert seul est pris volontiers, si la présence du calcium n'empêche pas l'absorption du sodium, la présence du potassium, au contraire, peut avoir pour effet de rendre l'absorption de sodium absolument nulle.

TABLEAU XXXVII. — Absorption simultanée du Potassium et du Sodium, à l'état de Nitrates, par une culture de Colzas.

Durée : 4 jours.		milligr.
100 cc. de liquide renfermant :	Az. . . .	80.0
	K. . . .	114.8
	Na. . . .	67.4
	POTASSIUM	SODIUM
Poids de métal absorbé. . . . .	40mg1	— 3mg8
Métal absorbé pour 100 introduit. . . . .	35.8	0
Azote correspondant au métal absorbé. . .	14mg4	— 2mg3
Azote absorbé, calculé. . . . .	12mg1	
Azote absorbé, trouvé. . . . .	14mg0	
Rapport de l'azote du potassium absorbé à		
l'azote du sodium absorbé, ou $\frac{K\ o/o}{Na\ o/o}$ . . .	$\infty$	

*Culture de seigle.* — Tableau XXXVIII. Pendant la première période, qui a duré cinq jours, trois milligrammes seulement de sodium ont été pris; l'absorption de potassium est vingt-deux fois plus considérable, elle atteint 66 mg. 6. Les absorptions centésimales sont 79.4 pour le potassium et 6.2 pour le sodium; ce qui conduit au rapport 13.3.

Si une petite quantité de sodium a été prise, il n'en ressort pas moins que les seigles ont manifesté une préférence excessive pour le potassium.

La seconde observation nous donne un résultat tout différent. L'absorption de potassium est encore supérieure à celle de sodium, mais elle n'est plus que trois fois aussi forte, tandis que précédemment elle était vingt-deux fois aussi considérable, et le rapport des absorptions centésimales, qui était de 13.3, est maintenant tombé à 4.9. Deux causes peuvent expliquer cette différence : d'abord, la seconde observation a duré dix jours, et la première n'en a duré que cinq; le liquide s'est plus fortement appauvri en potassium que la première fois, et ce métal ne s'est plus trouvé en proportion suffisante pour empêcher l'absorption d'une certaine

quantité de sodium. En second lieu, il faut peut-être voir là un affaiblissement de cette faculté de choisir que possède la plante; gorgée de potasse, elle n'est plus capable d'exercer une absorption élective.

TABLEAU XXXVIII. — Absorption simultanée du Potassium et du Sodium, à l'état de Nitrates, par une culture de Seigle.

	milligr.			
100 cc. de liquide renfermant :	{ Az. . . . 60.0			
	{ K.. . . . 83.8			
	{ Na. . . . 51.1			
	OBSERVATION N° 1		OBSERVATION N° 2	
	Durée : 5 jours.		Durée : 10 jours.	
	Potassium.	Sodium.	Potassium.	Sodium.
Poids du métal absorbé. . .	66mg6	3mg0	74mg1	23mg3
Métal absorbé pour 100 in-				
troducts. . . . .	79.4	6.2	88.4	45.6
Azote correspondant au mé-				
tal absorbé. . . . .	23mg9	1mg8	26mg5	14mg2
Azote absorbé, calculé. . . .	25mg7		40mg7	
Azote absorbé, trouvé. . . .	26mg8		42mg0	
Rapport de l'azote du potas-				
sium absorbé à l'azote du				
sodium absorbé, ou rap-				
port $\frac{K \text{ } \circ/\circ}{Na \text{ } \circ/\circ}$ . . . . .	13.3		4.9	

Par suite nous déduirons que les plantes, tout au moins au moment où commence leur nutrition minérale, laissent le sodium absolument de côté pour ne prendre que le potassium, et nous concevons ainsi l'absence de sodium chez les plantes terrestres. Il ne s'ensuit pas pour cela que le potassium empêche d'une façon absolue l'absorption du sodium; notre expérience sur le seigle est là pour témoigner du contraire, et les recherches récentes de M. Dasseville¹ sur l'influence de divers sels sur la structure des végétaux tendent à prouver que non seulement les sels de soude peuvent pénétrer dans les plantes, mais aussi qu'ils leur sont d'une certaine utilité pour aider à la lignification de la base des tiges et par suite à leur consolidation.

1. *Revue générale de botanique*, 1898, p. 161.

ABSORPTION SIMULTANÉE DU CALCIUM ET DU MAGNÉSIUM  
A L'ÉTAT DE NITRATES

Nous avons enfin cherché si les plantes choisissaient entre le calcium et le magnésium. Ce point est moins important que les précédents, mais présente cependant quelque intérêt, puisque nous savons qu'à la longue le magnésium absorbé seul est toxique.

On analysait les liquides en suivant la méthode indiquée par Sainte-Claire, Deville. Le mélange des nitrates est évaporé à sec en présence d'un peu d'acide azotique, puis calciné légèrement au-dessous du rouge; le nitrate de magnésium se décompose aisément tandis que celui de calcium résiste très bien. On reprend par l'eau, on filtre pour recueillir la magnésie, qui est lavée, calcinée et pesée; dans le liquide on précipite la chaux à l'état d'oxalate. La solution employée nous a donné :

42 mg. 2 de calcium au lieu de 42.6;  
et 24 mg. 9 de magnésium au lieu de 25.7.

TABLEAU XXXIX. — Absorption simultanée du Calcium et du Magnésium,  
à l'état de Nitrates, par des cultures de Seigle.

				milligr	
100 cc. de liquide renfermant :	{	Az. . . .	60.0		
		Ca. . . .	42.2		
		Mg. . . .	24.9		
		CULTURE N° 1	CULTURE N° 2		
		Durée : 9 jours.	Durée : 9 jours.		
		Calcium.	Magnésium.	Calcium.	Magnésium.
Poids du métal absorbé. . .		25mg1	6mg7	26mg5	7mg6
Métal absorbé pour 100 in-					
troducts . . . . .		59.5	26.4	62.8	30.5
Azote correspondant au mé-					
tal absorbé. . . . .		17mg6	7mg8	18mg6	8mg8
Azote absorbé, calculé . . .		25mg4		27mg4	
Azote absorbé, trouvé. . .		25mg5		30mg2	
Rapport de l'azote du cal-					
cium absorbé à l'azote du					
magnésium absorbé, ou					
rapport $\frac{\text{Ca } \circ/\circ}{\text{Mg } \circ/\circ}$ . . . . .		2.3		2.1	

*Cultures de seigle.* — Tableau XXXIX. Deux cultures différentes de seigle ont donné les mêmes résultats : l'absorption de

calcium est de trois à quatre fois supérieure à celle de magnésium, et l'absorption centésimale de calcium est un peu plus du double de celle de magnésium; les rapports sont 2.3 et 2.4. La sélection est en faveur du calcium.

Ces expériences n'ont pas la prétention de fixer les besoins minéraux des plantes; elles ont pour unique but d'établir que les végétaux exercent un choix parmi les sels solubles qui leur sont offerts. Nous pouvons nous imaginer ainsi ce qui se passe lorsque les plantes ont à leur disposition un mélange de potassium, de sodium et de calcium: le potassium sera absorbé en grande quantité, le calcium sera pris en proportion notable, puisque son absorption n'est pas annulée par la présence du potassium qui, au contraire, annihilera ou réduira fortement l'absorption de sodium.

Mais les résultats observés ne peuvent pas être généralisés; si le colza, le blé, le seigle, les pois, les lentilles prennent plus de potassium que de calcium, il ne s'ensuit pas pour cela que toutes les plantes se comporteront de même. En outre, dans d'autres conditions, les choses ne se passent pas toujours de la même façon, car, d'après ce que nous avons vu, la nutrition antérieure des sujets en expérience exerce une influence sur leur nutrition postérieure.

Quelle est la cause de ces choix? Elle ne peut pas être attribuée à l'insolubilisation de l'un des sels sous une forme bien déterminée. Nous ne pouvons pas y voir non plus la conséquence de propriétés physiques de ces corps, puisque les vitesses de diffusion des sels de potassium et de sodium, par exemple, sont trop voisines pour expliquer les différences observées dans l'absorption.

Si, au lieu de considérer les poids absolus des éléments qui sont entrés dans les plantes, on compare les nombres de molécules, on trouve encore des différences considérables.

Reprenons la comparaison entre la matière azotée vivante et les colloïdes minéraux. Si l'on fait filtrer sur de l'argile des sels de soude et des sels de potasse, on constate que les solutions des premiers passent presque sans modification, tandis que les seconds sont retenus; la terre arable jouit des mêmes propriétés qui sont dues non seulement à la présence de l'argile, mais aussi à la présence de matières organiques mal définies. La terre ne retient pas les sels de chaux, et ses propriétés absorbantes ne sont pas

les mêmes pour les chlorures, par exemple, que pour les carbonates. Enfin, les propriétés absorbantes de l'argile sont profondément modifiées par la dessiccation et la contraction.

La matière protoplasmique, essentiellement colloïde, possède des propriétés analogues. Quant au fait qu'elle absorbe bien le sodium lorsqu'il est seul et qu'elle le laisse de côté lorsqu'il est accompagné du potassium, on peut voir là une affinité plus grande pour le second métal, absolument comme lorsqu'un mélange de deux bases est en présence d'une quantité insuffisante d'acide, l'une d'elles sera neutralisée de préférence à l'autre. Une autre considération en faveur de cette hypothèse réside en ce que nous avons vu les plantes se saturer progressivement d'un sel, d'un nitrate, et qu'une fois la saturation atteinte pour un nitrate d'une base déterminée, elle existe aussi pour un nitrate d'une autre base, et même pour un autre sel.

(Il est remarquable que les matières vivantes fixent de préférence le potassium, en laissant le sodium de côté. Ce que nous constatons dans le règne végétal existe aussi dans le règne animal : dans le sang, la partie vivante, les globules, renferme du potassium ; au contraire, le sérum qui la baigne est riche en chlorure de sodium.)

A proprement parler, il n'y a pas combinaison entre le protoplasma vivant et le sel soluble, puisque, lorsqu'une cellule séjourne dans une solution saline, sa pression osmotique croît, et que cette augmentation est partiellement due à l'introduction de sel ; si, comme nous l'avons déjà dit, une combinaison avait lieu, le nombre de molécules en solution ne changerait pas, et la pression ne varierait pas autant.

Est-ce à cette tendance à augmenter sa pression interne que présentent les cellules plongées dans des solutions salines ou autres qu'il faut attribuer l'absorption de la substance dissoute ?

Il est certain qu'un effet de cette absorption est d'accroître la pression osmotique intérieure aux dépens du liquide extérieur. Mais nous avons montré que des plantes peuvent totalement priver de chlore ou d'azote nitrique des solutions ne renfermant que des traces de ces corps ; à ce moment, les cellules présentent un excès osmotique énorme sur le liquide extérieur ; ce n'est donc pas parce qu'un excès osmotique tend à s'établir que ces traces de sel sont prises, puisque cet excès existe déjà et qu'au contraire

le séjour des cellules dans une solution aussi diluée fait baisser la pression intérieure. Et, d'autre part, il arrive un moment où l'absorption cesse, même lorsque la concentration extérieure n'est pas négligeable, correspondant par exemple à une demi-atmosphère. Un accroissement de la pression extérieure, s'il provoque un accroissement dans la cellule, ne cause pas, dans ces conditions, l'introduction d'une nouvelle quantité de sel.

Nous sommes donc obligés de reconnaître qu'il n'y a pas là de cause dominante de l'introduction du sel, surtout lorsque l'on considère ce qui se passe pour les mélanges de potassium et de sodium, et on est amené à considérer ces phénomènes comme analogues à des saturations chimiques.

---

## CONCLUSIONS

L'abondance des nitrates dans les végétaux à certaines époques de leur existence s'explique par la rapidité avec laquelle ces sels sont saisis même dans des solutions très étendues. Les nitrates ainsi absorbés sont retenus par la plante et soustraits à l'action des dissolvants extérieurs; mais cette propriété est liée à la vie de la plante : lorsque celle-ci est tuée, elle laisse immédiatement diffuser au dehors les nitrates qu'elle renferme.

Lorsque le métal avec lequel l'azote nitrique est uni n'est pas toxique, sa nature n'a pas d'influence sur l'absorption; à la condition d'être présenté isolé, le nitrate de sodium est aussi bien absorbé que celui de potassium, les nitrates de calcium et de magnésium sont pris aussi aisément que ceux de potassium et de sodium. Au contraire, les nitrates de lithium, de strontium et de baryum ne sont absorbés qu'en très faible quantité et font rapidement sentir leurs effets nuisibles.

De ce que les plantes absorbent aisément l'azote nitrique et que celui-ci est nécessaire à la formation de leurs albuminoïdes, faut-il conclure qu'il y a là quelque chose de particulier et que cette absorption est due à une propriété spéciale du protoplasma vivant, accumulant en quelque sorte les matériaux nécessaires à l'évolution de la plante, ou bien cette propriété d'accumulation s'observe-t-elle non seulement sur des sels utilisables, mais aussi sur des composés inutiles?

Il est facile de constater que les chlorures se comportent absolument comme les nitrates; ils sont absorbés de la même façon par les plantes, et retenus de même par les propriétés du protoplasma vivant. Et cependant, le rôle que joue le chlore dans le développement des végétaux, si toutefois il existe, est loin d'avoir l'importance qu'exerce l'azote nitrique.

Si les métaux non toxiques sont absorbés aussi bien les uns que les autres, le sodium comme le potassium, et si les chlorures sont pris aussi rapidement que les nitrates, comment s'expliquer la composition des plantes terrestres, qui renferment infiniment plus de potasse que de soude et beaucoup moins de chlore que d'azote nitrique? La composition du milieu où vivent les racines a une influence considérable, mais ne suffit pas pour élucider ce point d'une façon satisfaisante.

L'explication cherchée se trouve dans ce fait que les végétaux sont capables d'exercer un choix parmi les substances qu'elles ont à leur disposition : dans un mélange de chlorure et de nitrate elles prennent plus d'azote nitrique que de chlore, et tandis que le liquide s'appauvrit en nitrate, il s'enrichit en chlorure; entre le potassium et le calcium, le choix porte sur le premier métal; enfin, chose remarquable, en présence du potassium, le sodium peut être complètement laissé de côté, tandis que le calcium n'empêche pas l'absorption de sodium.

Il me reste, en terminant, à exprimer à mon cher maître, M. Dehérain, ma profonde reconnaissance pour les conseils et les encouragements qu'il m'a prodigués au cours de ce travail. C'est à lui que je dois de pouvoir ajouter quelques points à ce sujet de la nutrition minérale des plantes, sujet qu'il avait si magistralement traité il y a maintenant plus de trente ans.

Vu et approuvé :

Paris, 26 juillet 1899.

*Le doyen de la Faculté des sciences,*

DARBOUX.

Vu et permis d'imprimer,

*Le vice-recteur de l'Académie de Paris,*

GRÉARD.

---

SECONDE THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

1° Pression osmotique.

2° Mesures relatives à quelques sels.

Vu et approuvé :

Paris, 26 juillet 1899.

*Le doyen de la Faculté des sciences,*

DARBOUX.

Vu et permis d'imprimer :

*Le vice-recteur de l'Académie de Paris,*

GRÉARD.



